

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Digitalizace universálního délkoměru ZEISS 450

Digitization of Universal Length Measuring Machine ZEISS 450

Student:

Bc. Jiří Skrál

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Šárka Tichá, Ph.D.

Ostrava 2016

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Skrál**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **2303T002 Strojírenská technologie**
Specializace: **20 Strojírenská technologie**
Téma: **Digitalizace univerzálního délkoměru ZEISS 450**
Digitization of Universal Length Measuring Machine ZEISS 450
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te rozbor požadavků kladených na délkoměry z pohledu jejich metrologických vlastností.
2. Proved'te rozbor možností digitalizace délkoměru ZEISS 450.
3. Proved'te návrh komponentů pro digitalizaci včetně softwaru v podmínkách fy. UNIMETRA, spol. s r.o.
4. Proved'te konstrukční a montážní návrh umístění jednotlivých komponentů.
5. Proved'te praktické ověření realizace navržené digitalizace včetně vyhodnocení nejistot měření.
6. Proved'te celkové zhodnocení.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] Dokument EA4/02. *Vyjadřování nejistot měření při kalibraci*. Praha: Český normalizační institut, 2001. 70 s.
- [2] Universal- Längenmesser - Gebrauchsanleitung. CARL ZEISS JENA. 30 s.
- [3] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [4] Firemní literatura.

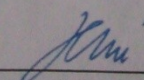
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

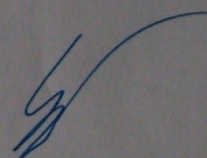
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Šárka Tichá, Ph.D.**

Datum zadání: 11.12.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016




doc. Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 16.5.2016

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 16.5.2016



Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Jiří Skrál

Adresa trvalého bydliště:

Hutník 1450
Veselí nad Moravou
698 01

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE PRÁCE

SKRÁL, J. *Digitalizace univerzálního délkoměru ZEISS 450: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická universita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie, 2016, 61s. Vedoucí práce: Tichá, Š.

Diplomová práce se zabývá návrhem a praktickým ověřením digitalizace univerzálního délkoměru ZEISS 450, tato práce byla zpracována z požadavků firmy UNIMETRA, spol. s.r.o. V teoretické části je práce zaměřena rozdělení měřidel dle zákona č.119/2000 Sb. Je zde rozebrána problematika nejistot měření, jejich vyhodnocení a zdrojů, ze kterých by mohly pocházet. Dále jsou v teoretické části popsány požadavky na měřidla a vliv konstrukce měřicího přístroje na proces měření. V praktické části je popsán Délkoměr ZEISS 450 s jeho technickými parametry, který se digitalizoval. Praktická část také obsahuje komponenty které byly použity pro digitalizaci odměřovací pravítka Renishaw RGH22 a vyhodnocovací program Comparator v.6.0. V závěru práce je ověření návrhu, včetně vyhodnocení a porovnání výsledků, které byly naměřeny před a po provedení digitalizace. Také se zde nachází zhodnocení naměřených výsledků a přínosu digitalizace.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

SKRÁL, J. *Digitization of Universal Length Measuring Machine ZEISS 450: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machining, Assembly and Engineering metrology, 2016, 61 p. Thesis head: Tichá, Š.

This thesis describes the design and practical verification of digitizing universal length measuring instrument ZEISS 450, this work was drawn from business requirements UNIMETRA, spol. Ltd. The theoretical part is oriented division of measuring instruments according to Act No.119 / 2000 Sb. It also analyzes problems of uncertainties in measurement, evaluation and sources which could come. Furthermore, the theoretical part describes the requirements for measuring devices and structures influence the measuring instruments on the measurement process. The practical part describes The instrument ZEISS 450 with its technical parameters, which are digitized. The practical part also contains components that have been used for digitizing the measuring ruler Renishaw RGH22 and evaluation software v.6.0 Comparator. In conclusion, the design verification, including an evaluation and comparison of results, which were measured before and after digitization. Also there is an evaluation of the measured results and benefits of digitization.

Obsah:

Seznam použitého značení	7
Úvod.....	8
1 Cíl práce	9
2 O firmě UNIMETRA, spol. s.r.o.	10
3 TEORETICKÁ ČÁST	11
3.1 Měření délek	11
3.2 Návaznost měřidel	13
3.3 Kategorie měřidel dle zákona č. 119/2000 Sb.	14
3.4 Měřicí stroje	16
3.5 Abbého délkoměr	16
3.6 Universální délkoměr	17
3.7 Nejistoty měření	18
3.8 Zdroje nejistot.....	23
3.9 Digitalizace	25
3.10 Požadavky na měřicí vybavení	26
3.11 Vliv konstrukce měřicího přístroje	27
4 Praktická část	30
4.1 HORIZONTÁLNÍ DÉLKOMĚR ULM 450 ZEISS	30
4.2 Technické údaje přístroje [14]	31
4.3 Popis přístroje	32
4.4 Základní postup měření délek do 100 mm	34
4.5 Možnosti použití stroje [14]	36
5 Finanční zhodnocení	37
6 Komponenty pro digitalizaci, vyhodnocovací software.....	39
6.1 Odměřovací pravítko Renishaw RGH22	39
6.2 Vyhodnocovací softwarový program Comparator verze 6.0	40
7 Realizace digitalizace	42

8 Praktické ověření návrhu.....	44
8.1 Ukázka výpočtu odchylek pro základní měрку 5 mm před digitalizací délkoměru	44
8.2 Ukázka výpočtu odchylek pro základní měрку 5 mm po digitalizaci délkoměru.....	49
9 Tabulkové porovnání naměřených hodnot před digitalizací a po digitalizaci a jejich zhodnocení.....	54
Závěr.....	55
Seznam použité literatury	57
Seznam příloh.....	60

Seznam použitého značení

Značka	Popis	Jednotka
ČMI	Český metrologický institut	
ČSN	Česká státní norma	
EN	Evropská norma	
ISO	Mezinárodní norma	
JR	Jmenovitý rozměr	[mm]
L	Měřená délka	[m]
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu	
$S_{(x)}$	Výběrová směrodatná odchylka	[mm]
$S_{(\bar{x})}$	Směrodatná odchylka dílčích aritmetických průměrů	[mm]
UNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví	
Z	Chyba měření	[μm]
Z_{jmax}	Zdroj nejistoty	
c_1, c_2, c_3, c_4	Koeficienty citlivosti	[mm]
x_i	Naměřená hodnota	[mm]
\bar{x}	Výběrový průměr	[mm]
u	Kombinovaná standardní nejistota	[μm]
u_A	Standardní nejistota typu A	[μm]
u_B	Standardní nejistota typu B	[μm]
u_{B1}	Nejistota kalibrace koncové měrky	[μm]
u_{B2}	Chyba způsobená odečítáním na stupnici délkoměru	[μm]
u_{B3}	Nejistota způsobená teplotním rozdílem mezi koncovou měrkou a délkoměrem	[μm]
u_{B4}	Nejistota způsobená vlivem odchylky teploty okolí při kalibraci od 20°C	[μm]
u_C	Kombinovaná nejistota	[μm]
α_1	Koeficient teplotní roztažnosti koncové měrky	[K ⁻¹]
α_2	Koeficient teplotní roztažnosti skleněného měřítka	[K ⁻¹]
δ_T	Změna teploty	[°C]

Úvod

V dnešním světě, kdy věda a technika jde ruku v ruce a stále se pracuje na vývoji nových moderních metod obrábění se v závislosti na těchto nových, ale také stávajících metodách také rozvíjí měřicí a kontrolní metody měření. Toto se děje nejen proto, aby se zvyšoval objem výroby, ale také proto, aby se také zvyšovala jakost vyráběných kusů.

Proces měření v dnešní době, kdy se klade důraz na rychlost a objem výroby musí být pro operátory měřicích zařízení co nejjednodušší a v závislosti na rychlosti měření co nejrychlejší, ale samozřejmě to nesmí být na úkor přesnosti dosažených výsledků a proto nemůže být podniku lhostejné jakými měřidly a měřicími metodami kontrolují přesnost svých výrobků.

Nemůže se ale také zapomínat na to, že se zvětšujícím se objemem výroby se budou také zvětšovat i náklady na měření a proto by si podniky měli uvědomit, že není vhodné volit nákladnější a přesnější metody měření a měřicí stroje než je nezbytně nutné pro potřeby podniku.

Výroba vybavená novou výrobní technikou bude také vyžadovat jednotnost a přesnost a tím pádem také nové měřicí metody případně stroje. Metrologie je jedna činností, která má pro průmysl z pohledu jakosti a technického vývoje velký význam.

Technickým vývojem měřicích metod a měřicích přístrojů mám na mysli zdokonalování dosavadních metod měření a měřicích přístrojů tak také výzkum a vývoj nových metod a prostředků, které budou zajišťovat správnost a přesnost měření jak v průběhu obrábění stroji tak i mimo něj, nutné je se také zabírat propracovaností racionální metodiky měření a vyhodnocováním naměřených hodnot.

1 Cíl práce

Hlavním cílem diplomové práce je návrh a praktické ověření digitalizace délkoměru ZEISS 450 ve firmě UNIMETRA, spol. s.r.o. ze které také vzešli i požadavky na vypracování této práce. Proto se na začátku zmiňuji o firmě UNIMETRA, spol. s.r.o. ve které byla kalibrace daného délkoměru provedena.

Než proběhne samotné měření na přístroji a jeho kalibrace tak je nutné se více seznámit s problematikou měření délkových rozměrů. Proto se v teoretické části zabývám jak problematikou měření délek, tak i kategoriemi měřidel dle zákona č.119/2000 Sb.

Pro vypracování nejistot měření, které bude zpracováno v praktické části práce, bylo nutné se nejdříve seznámit s nejistotami měření obecně, ale také s jejich výpočtem a vlivy které je mohou zapříčinit. Dále jsou v teoretické části popsány požadavky na měřicí přístroje s uvedením několika příkladů k tématu délkoměrů. Také je zde popsán vliv konstrukce měřidla na správnost a přesnost měření, který nám pomáhá redukovat chyby 1. řádu a chyby 2. řádu.

V teoretické části je pak popsán délkoměr na kterém se digitalizace prováděla spolu s jeho technickými údaji. Následuje popis měření délek do 100 mm na tomto přístroji. Spolu s těmito údaji jsou dále popsány komponenty, které se použili pro samotnou digitalizaci a to odměřovací pravítko Renishaw RGH22 a vyhodnocovací program Comparator v.6.0.

V závěru práce jsou zpracovány a porovnány naměřené hodnoty pro zvolené koncové měrky, před a po digitalizaci délkoměru. Dále je v závěru provedeno zhodnocení naměřených hodnot a zhodnocení efektu digitalizace na průběh měření.

2 O firmě UNIMETRA, spol. s.r.o.

Předchůdci firmy byla od roku 1990 činnost v oblasti měřidel a metrologie fyzické osoby „Ing. Lubomír Číž – metrologie“ a činnost „sekce Metrologie firmy Univers“. 10.12.1992 pak byl proveden zápis do obchodního rejstříku a třemi společníky Ing. Lubomírem Čížem, Ing. Alenou Motalovou a Ing. Jarmilou Hrubou byla oficiálně založena firma UNIMETRA, spol. s r.o. se sídlem na ulici Místecká 31 v Ostravě-Vítkovicích. Cílem firmy byl prodej měřidel a metrologické vzdělávání (odborné kurzy, semináře a do roku 1999 vydávání časopisu „Metrologie v praxi“).

V roce 1995 se firma přestěhovala na ulici Těšínskou č.p. 367 v Ostravě Radvanicích (nynější kalibrační laboratoř), kde byla provedena rekonstrukce a přístavba objektu a rovněž byli přijati první dva zaměstnanci. V dalších letech se firma rozrůstala ročně o 1 až 2 zaměstnance (na současný stav 20 zaměstnanců) a rovněž se rozšiřovala činnost firmy. Byla zřízena a vybavena vlastní kalibrační laboratoř a následně přibýly servisní a výrobně-technické oddělení. V roce 1999 byly pronajaty první místnosti v budově na Těšínské ulici 396 (v objektu bývalé školy) a v roce 2002 byl celý objekt zakoupen. V současnosti je zde sídlo firmy, obchodní oddělení, marketing, servis a výroba, technická kontrola a učebna. [1]

Systém managementu kvality

Firma zavedla a používá systém managementu kvality dle ČSN EN ISO 9001:2009 a je od roku 1999 certifikována. Součástí dokumentace systému managementu kvality je dokument politiky jakosti firmy.

Kalibrační laboratoř firmy byla v roce 2002 akreditována Českým institutem pro akreditaci dle normy ČSN EN ISO/IEC 17025 a je oprávněna používat při své činnosti v daném rozsahu označení „Kalibrační laboratoř akreditovaná ČIA č. 2310“.

Služby firmy:

prodej a kalibrace měřidel, servis a opravy měřidel, výroba speciálních měřidel, školení a kurzy v metrologii, technické a kontrolní měření. [1]

3 TEORETICKÁ ČÁST

Shrnutí všeobecných znalostí o druzích měřidel jejich návaznosti a kategorií v souladu se zákonem, dále bude v této kapitole rozebrána problematika nejistot měření a jejich vyhodnocení a také zdroje těchto nejistot. V závěru kapitoly se rozeberou požadavky na měřidla a vliv konstrukce měřidla na proces měření.

3.1 Měření délek

Délkové rozměry můžeme měřit dvojím způsobem a to buď metodou přímou, nebo nepřímou.

Při použití přímé metody měření se číselná hodnota rozměru odečítá přímo pomocí stupnice, měřidel na měřicím přístroji. Přímá metoda měření se hojně používá, hlavně při kusové výrobě kdy je potřeba změřit více rozměrů na jedné součásti pomocí jednoho měřidla.

Nepřímá metoda měření porovnávací též známá jako komparační slouží při porovnání rozměru součásti, s neměnným nebo nastavitelným rozměrem měřidla nebo přístroje. Výsledkem tohoto měření není naměření rozměru součásti, ale zjištění jestli je hodnota odchylky měřeného rozměru v tolerovaných mezích či nikoliv, to znamená, jestli je výrobek zmetkový nebo ne.

Podle způsobu snímání rozměru se metody měření délkových rozměrů dělí na:

Dotykové – měřená součást je namáhána přitlačnou silou vyvozenou měřicími dotyky měřidla na povrch součásti. Většina měřidel ve strojírenství je dotykových.

Bezdotykové – měřidlo se nedotýká součásti, takže ho ani nijak nedeformuje. V tomto případě se měření délky může provozovat i na větší vzdálenost (laserový délkoměr, dalekohled) a měřené těleso se může pohybovat (měření pomocí laserového skeneru).

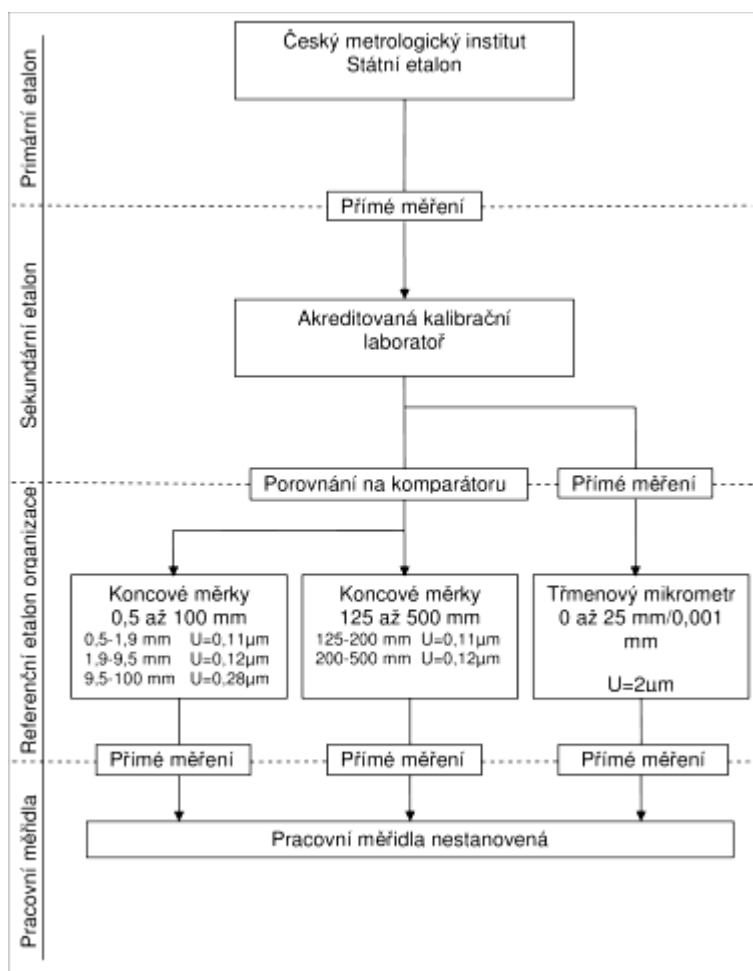


Obr. 3.1 Ukázka měření dálkoměrem PREXISO X2 [2]

3.2 Návaznost měřidel

Pod pojmem návaznosti měřidel se rozumí zařazení daných měřidel do nepřerušené posloupnosti přenosu hodnoty veličiny, která začíná etanolem nejvyšší metrologické jakosti pro daný účel až na pracovní měřidla za účelem zajištění jednotnosti a přesnosti měření. [3]

Pro lepší představu lze použít grafické schéma návaznosti měřidel délky.



Obr. 3.2 Schéma návaznosti měřidel délky [9]

3.3 Kategorie měřidel dle zákona č. 119/2000 Sb.

Měřidla slouží k určení hodnoty měřené veličiny. Spolu s nezbytnými pomocnými měřicími zařízeními.

Hlavní kategorie měřidel, pro které se rozlišuje prokazování způsobilosti, stanovuje zákon č. 505/1990 Sb. o metrologii v zákoně č. 119/2000 Sb.

Měřidla se dělí na:

- etalony,
- pracovní měřidla stanovená,
- pracovní měřidla nestanovená,
- certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály, pokud jsou určeny k funkci etalonu nebo stanoveného a pracovního měřidla.

Etalon

Etalon měřicí jednotky nebo stupnice dané veličiny se odborně definuje jako měřidlo, které uskutečňuje a uchovává tuto jednotku nebo stupnici, ale také ji přenáší na měřidla s nižší přesností. Etalony by měly sloužit především k zajištění jednotnosti nebo přesnosti měřidel a měření. Nesmí se používat k rutinnímu měření [11].

Státní etalony jak už název napovídá, mají nejvyšší metrologickou jakost pro daný stát, tyto etalony schvaluje ÚNMZ, který také stanoví způsob jejich tvoření, uchování a používání. Státní etalony hlavně navazují na mezinárodní etalony nebo na etalony jiných států s odpovídající metrologickou úrovní. Státní etalony uchovává buď ČMI nebo společnosti které jsou prověřené od ÚNMZ a jsou oprávněny k této činnosti.

Hlavní etalony tvoří další podskupinu kategorie etalonů a určují základ pro návaznost měřidel. V praxi jsou používány pro kalibrování pracovních měřidel a pracovních etalonů, jejichž třída přesnosti je vždy nižší než třída přesnosti právě hlavního etalonu. Jejich kalibrace se uskutečňuje v ČMI nebo v akreditovaných střediscích.

Měřidla stanovená

Jsou to měřidla, kterým MPO ukládá povinnost k povinnému ověření a také MPO schvaluje nové typy měřidel. Schválení typů měřidel uskutečňuje ČMI, který sériemi zkoušek zjišťuje, jestli je měřidlo schopné vykonávat funkci pro kterou je určené. Po ověření schopnosti měřidla vydá ČMI certifikát a značku, případně ověřovací list o schválení daného typu měřidla. Ověřování stanovených měřidel má na starosti ČMI tuto úlohu mohou vykonávat i autorizovaná metrologická střediska. Tímto se potvrzuje, že dané měřidlo splňuje požadavky na něho kladené. Měřidla, která jsou stanovená, mohou být podle zákona používána v obchodních vztazích. Seznam druhů těchto měřidel popisuje vyhláška č. 345/2002 Sb. Doba po které jsou měřidla ověřována je stanovena vyhláškou.

Měřidla pracovní nestanovená

Obecná definice těchto měřidel je taková, že to nejsou etalonem ani stanoveným měřidlem. Mají velký vliv na jakost výroby a řízení technologického procesu. Jsou to nejvíce rozšířená měřidla. V praxi těmito měřidly můžeme zjišťovat parametry v průběhu výroby. Každý podnik, který tyto měřidla používá je povinen vést jejich seznam a také uchovávat záznamy o kalibracích. Příkladem pracovního měřidla může být posuvné měřítko, úhlooměry, mikrometry, teploměry.

Certifikované referenční materiály a ostatní referenční materiály

Jsou to materiály nebo látky, u kterých jsou jejich vlastnosti a složení přesně dány. Používají se ke kalibrování přístrojů a k jejich ověřování, k vyhodnocování metod měření a určování vlastností materiálů.

3.4 Měřicí stroje

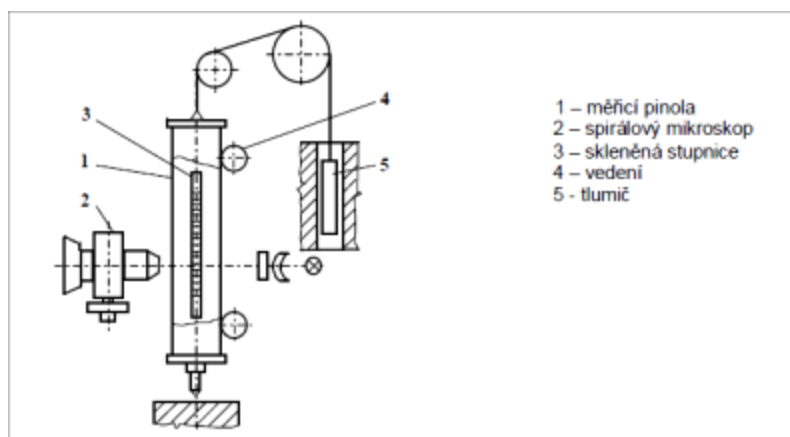
Měřicími stroji je skupina měřicích zařízení, u kterých je měřicí soustava založena na absolutních nebo přírůstkovém odměřovacím systému. Měření se provádí v jednom směru, soustavě souřadnicových rovin nebo prostoru.

Do měřicích strojů patří [3]:

- délkoměry (umožňují přesné měření v jednom směru),
- výškoměry (umožňují měření v jednom směru od určité základny),
- měřicí mikroskopy (umožňují měření ve dvou souřadnicích),
- projektory (umožňují měření ve dvou souřadnicích),
- souřadnicové měřicí stroje (umožňují měření v prostoru v kartézských nebo polárních souřadnicích).

3.5 Abbého délkoměr

Jedná se o vertikální délkoměr s absolutním i komparačním způsobem měření. Na měřicím trnu je připevněno skleněné měřítko o délce 100mm s milimetrovým dělením, poloha trnu se měří pomocí zabudovaného mikroskopu s okulárem, který je proveden jako spirálový – Obr.(4.4), umožňuje odečítat na 1 μ m. Rychlost s jakou dosedá trn na stolek měřidla nebo měřenou součást je konstantní díky tlumiči. [3]



Obr.3.5 Princip Abbého délkoměru [3]

3.6 Universální délkoměr

Jedná se horizontální délkoměr pro přesná měření velkých rozměrů s vyloučením chyby I. řádu. Na vedení tuhého lože je posuvný koník spojený s optickou soustavou, který se může posouvat po celé délce lože. Proti koníku je umístěna měřicí hlava s odečítacím mikroskopem s hlavicí optimetru. Pod měřicí hlavou je skleněná stupnice s dílky po 0,1 mm na délce 100mm, ve stejné ose jsou v loži od sebe umístěné skleněné destičky s vyrytými zdvojenými ryskami ve vzdálenosti 100 mm. Nastavnými rameny je možné také měřit vnitřní rozměry, rozsah měření je 0-3000(6000)mm.



Obr.3.6 Délkoměr ZEISS 1000

3.7 Nejistoty měření

Pojem nejistota měření je definován v normě ČSN 01 0115 jako parametr přidružený k výsledku měření charakterizující rozsah hodnot, které je možno důvodně přiřadit k měřené veličině.

Tuto poněkud těžkopádnou definici lze vyložit takto:

Nejistota měření určuje interval okolo výsledku měření, ve kterém leží (s určitou pravděpodobností) pravá hodnota veličiny.

Jinými slovy: Pravou hodnotu veličiny sice nelze určit, ale lze ji stanovit (pomocí nejistoty) intervalem "od - do", ve kterých bude pravděpodobně ležet.

Způsob vyhodnocování nejistoty měření a její typy

Na počátku vyhodnocení nejistoty měření stojí detailní pochopení podstaty tohoto měření, které bývá popsáno tzv. modelem měření. Nejistoty měření se skládají z několika dílčích složek.

Ke stanovení jejich velikosti se používají podle ČSN P ENV 13005 dva základní způsoby (typy) stanovení nejistoty:

- způsob A vyhodnocení standardní nejistoty měření (statistické zpracování naměřených údajů);
- způsob B vyhodnocení standardní nejistoty měření (jiné než statistické zpracování naměřených údajů).

V normě ČSN P ENV 13005 jsou pak definovány druhy nejistoty:

- standardní nejistota,
- kombinovaná nejistota,
- rozšířená nejistota.

Vyhodnocení standardních nejistot měření způsobem A

Dle definice je nejistota typu A stanovena výpočtem z opakovaně provedených měření dané veličiny. V praxi to znamená, že pokud provedeme opakovaný odečet hodnoty neměnné měřené veličiny a máme k dispozici měřicí přístroj s dostatečným rozlišením, nevyhne se jistému rozptylu naměřených hodnot.

Předpokládáme, že během tohoto opakovaného měření se nemění ani daná měřená veličina,

ani ovlivňující veličiny, které na naše měření působí. Dále je v definici uvedeno, že mírou nejistoty typu A je výběrová směrodatná odchylka výběrového průměru. (Výběrová odchylka proto, že naměřené hodnoty x představují určitý malý výběr z prakticky neomezeného množství hodnot, kterých veličina může nabývat. Výběrového průměru proto, že hodnota, která se uvádí jako výsledek měření, se získá výpočtem průměrné hodnoty opakovaně provedených odečtů.)

Tomuto popisu odpovídá příslušný vztah pro výpočet nejistoty typu A:

$$u_A(x) = s(\bar{x}) = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.1)$$

$$\text{Kde platí že: } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.2)$$

Aby tento vztah platil je nutné, aby počet odečtených měření byl větší než 10 ($n > 10$), ze kterých se nejistota typu A vypočítá. Není-li možné dodržet tuto podmínku, je nutno provést doplňkovou korekci pro zohlednění malého počtu opakovaných měření, nebo nejistotu vyhodnotit způsobem B.

Vyhodnocení standardních nejistot způsobem B

Postup pro stanovení standardní nejistoty typu B je založen na stanovení nejistoty jiným než

statistickým vyhodnocením série pozorování.

V tomto případě vychází stanovení nejistoty z určitých odborných znalostí a racionálního úsudku pracovníka, který měření provádí a nejistoty následně vyhodnocuje.

Tyto nejistoty mohou být odvozeny na základě:

- údajů a zkušenosti z dříve provedených měření,
- zkušeností s chováním a vlastnostmi příslušných materiálů a měřicího vybavení, případně jejich obecné znalosti,
- údajů výrobce měřicí techniky,
- údajů uváděných v kalibračních listech,
- nejistot referenčních údajů převzatých z příruček.

Při určování nejistoty metodou typu B se vychází z dílčích nejistot jednotlivých zdrojů $u_B(z_j)$.

Je-li známa maximální odchylka j -tého zdroje nejistoty $z_j \max$, určí se nejistota $u_B(z_j)$ podle následujícího vztahu:
$$u_B(z_j) = \frac{z_j \max}{k} \quad (3.3)$$

Kde k je součinitel vycházející ze zákona rozdělení, kterým se příslušný zdroj nejistot řídí, takže např. pro normální rozdělení je $k = 2$, popř. 3, pro rovnoměrné rozdělení $k = 1,73$ atd.

V některých případech však může být známa již přímo hodnota standardní nejistoty $u_B(z_j)$ (např. z kalibračního listu měřidla).

Výsledná nejistota se určí metodou B pro p zdrojů $z_1, z_2, \dots, z_j, z_p$ dle následujícího vztahu:

$$u_B(x) = \sqrt{\sum_{j=1}^p A_j^2 u_B^2(z_j)} \quad (3.4)$$

kde:

$u_B(z_j)$ jsou nejistoty jednotlivých zdrojů

A_j jejich součinitele citlivosti

Touto úpravou se nejistotě typu B dostává charakteru směrodatné odchylky a jako s takovou se sní dále pracuje.

Použití rovnoměrného rozdělení představuje přiměřené statistické vyjádření nedostatečné znalosti vstupní (měřené) veličiny x , pokud o ni nejsou známy jiné informace, než jsou např. limity její variability.

Pokud ale víme, že pravděpodobnost výskytu hodnot v okolí středu intervalu hodnot je vyšší než pravděpodobnost výskytu hodnot v krajích intervalu, může být vhodnější použití trojúhelníkového nebo normálního rozdělení. Naopak, pokud je výskyt hodnot v mezích intervalu pravděpodobnější než ve středu intervalu, může být vhodnější použití U rozdělení.

Nejistoty kombinované

V reálné praxi jen málokdy vystačíme s jedním typem nejistoty měření. Ve většině případů se

stanovuje kombinovaná nejistota měření, která je výsledkem kombinace obou typů nejistoty měření A i B. Výsledná kombinovaná standardní nejistota výsledků měření (veličiny x) je geometrickým součtem nejistoty typu A a nejistoty typu B dle následujícího vztahu:

$$u_c(x) = \sqrt{u_A^2(x) + u_B^2(x)} \quad (3.5)$$

Standardní kombinovaná nejistota u_c byla určena s pravděpodobností cca. $P = 68\%$, tj. pro koeficient rozšíření $k = 1$. Pro jinou pravděpodobnost se nejistota měření upraví vynásobením koeficientem rozšíření vhodného rozdělení.

Nejistoty rozšířené

Jak již bylo uvedeno, výše uvedeným postupem se získá standardní kombinovaná nejistota. Označení „standardní“ vyjadřuje, že při skládání této nejistoty byly použity hodnoty směrodatných odchylek. Za určitých podmínek je možno považovat rozdělení takto určené nejistoty za přibližně normální. Z toho je zřejmé, že takto vypočtená nejistota měření pokrývá asi 68 % možných variant výsledků. Jinými slovy až 1/3 výsledků měření se může ocitnout mimo takto stanovené pásmo nejistot.

Z metrologického hlediska je taková situace nepřijatelná, proto přistupujeme k vynásobení standardní nejistoty koeficientem rozšíření, který nám umožní získat pokrytí možných výsledků s vyšší pravděpodobností. V praxi se nejčastěji používá postup určení koeficientu rozšíření dohodou pro určitou odhadovanou pravděpodobnost pokrytí výsledku měření.

Z teorie normálního rozdělení se nejčastěji používají dva základní koeficienty:

$k = 2$ pro pravděpodobnostní pokrytí přibližně 95 %;

$k = 3$ pro pravděpodobnostní pokrytí přibližně 99,7 %.

Rozšířenou nejistotu vypočteme ze vztahu: $U = k \cdot u_c$ (3.6)

3.8 Zdroje nejistot

Základní druhy zdrojů nejistot:

- měřicí přístroj, měřicí zařízení, měřidlo (nejistota kontrolního prostředku),
- etalon (kalibrace),
- pracovník – operátor (obsluha měřicího stroje),
- kontrolní prostředí (vliv prostředí),
- výrobek – součást (vliv kontrolovaného objektu),
- metoda měření (postup při měření objektu).

Vlivy měřicího přístroje:

- rozlišitelnost odečtu z přístroje,
- vnitřní tření v přístroji,
- stabilita (časová specifikace) přístroje,
- dynamické chyby přístroje,
- zanedbané systematické chyby,
- vliv výměnných částí přístroje.

Vlivy etalonu:

- nejistota použitého etalonu,
- návaznost etalonu.

Vlivy operátora měřicího stroje:

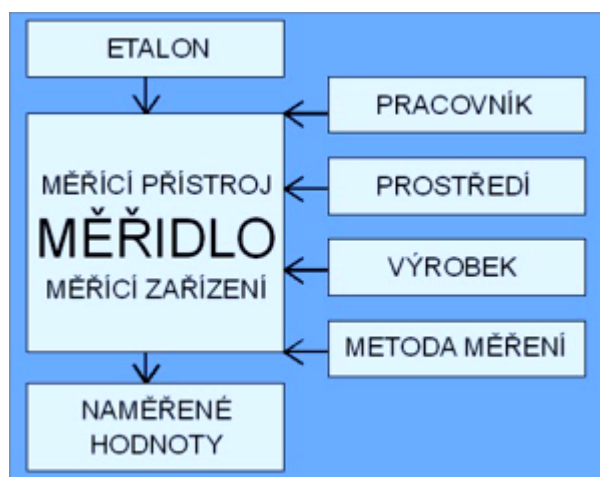
- kvalifikace, motivace a pečlivost,
- fyzický a psychický stav kontrolora,
- náhodné omyly při odečítání nebo zápisu,
- nedodržení metodik při měření,
- paralaxa.

Vlivy kontrolního prostředí:

- teplota, teplotní odchylka,
- tlak, změna tlaku,
- relativní vlhkost,
- osvětlení, případně jeho frekvence a tepelné vyzařování,
- čistota ovzduší, prostředí, prašnost.

Vlivy měřené součásti:

- odchylky tvaru a kvalita povrchu;
- vlastnosti materiálu (např. pružnost).

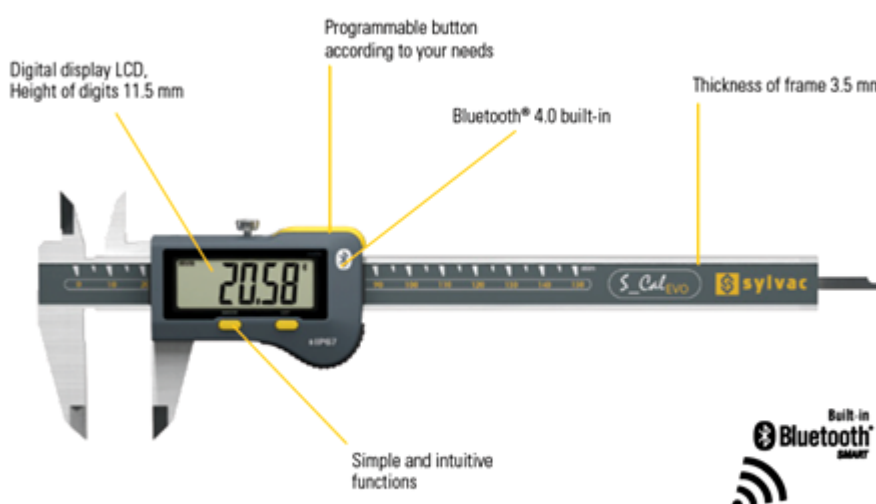


Obr.č.3.8. Vlivy působící na výsledek měření [20]

3.9 Digitalizace

Jak již bylo zmíněno tak vývoj nových metod měření jde pořád dopředu a tomu se přizpůsobují také měřicí přístroje. Co se týče digitalizace jako takové tak se nemusí jednat o zpřesnění měřicího přístroje, ale pouze o jeho modernizaci, tato modernizace spočívá hlavně vtom, aby byla výsledná naměřená hodnota co nejméně ovlivněná lidským faktorem (obsluhou přístroje) to znamená, aby například nedocházelo ke špatnému odečtení hodnoty na měřicí stupnici. Špatný odečet by mohl být zapříčiněný hlavně jiným rozlišovací schopností oka každého operátora a unavením oka při dlouhém měření přes okulár. Chyba měření by také mohla nastat při špatném zápisu naměřené hodnoty případně by mohlo dojít ke ztrátě naměřených dat.

Digitalizace u měřicích přístrojů spočívá vtom, že se redukuje vliv operátora na měření a naměřená hodnota se nám vyhodnocuje v prostředí softwarového programu. Tento způsob měření také usnadňuje další manipulaci s daty tím, že naměřené hodnoty můžeme okamžitě ukládat do počítače případně přesouvat do dalších softwarových programů, kde s těmito daty můžeme dále pracovat. Přenos dat mezi měřicím přístrojem a počítačem může být realizován například pomocí USB kabelu nebo Bluetooth.



Obr.č. Posuvné měřítko s Bluetooth [12]

3.10 Požadavky na měřicí vybavení

Jelikož délkoměry patří mezi měřidla pracovní stanovená tak podléhají kalibraci a měli by splňovat určité požadavky, které jsou na ně kladeny systémem managementu měření a to normou ČSN EN ISO 10012, která se zabývá požadavky na procesy měření a měřicí vybavení.

Všechno měřicí vybavení které je používáno ke specifických metrologických požadavků musí být dostupné a identifikovatelné v systému managementu kvality. Každé měřicí vybavení musí mít před používáním platnou kalibraci, jestli je vyžadována. Měřicí vybavení může být potvrzeno pro užití v určitých procesech měření a nemůže být užito v jiných procesech s odlišnými metrologickými požadavky. Metrologické požadavky na měřicí vybavení jsou odvozeny od požadavků, které jsou specifikované na produkt nebo na vybavení, které má být kalibrované. [11]

Metrologické požadavky na měřicí vybavení musí být vhodné pro jejich zamýšlené použití. Metrologické charakteristiky měřícího vybavení jsou faktory, které přispívají k nejistotě měření, které dovoluje přímé porovnání s metrologickými požadavky za účelem stanovení metrologické konfirmace.

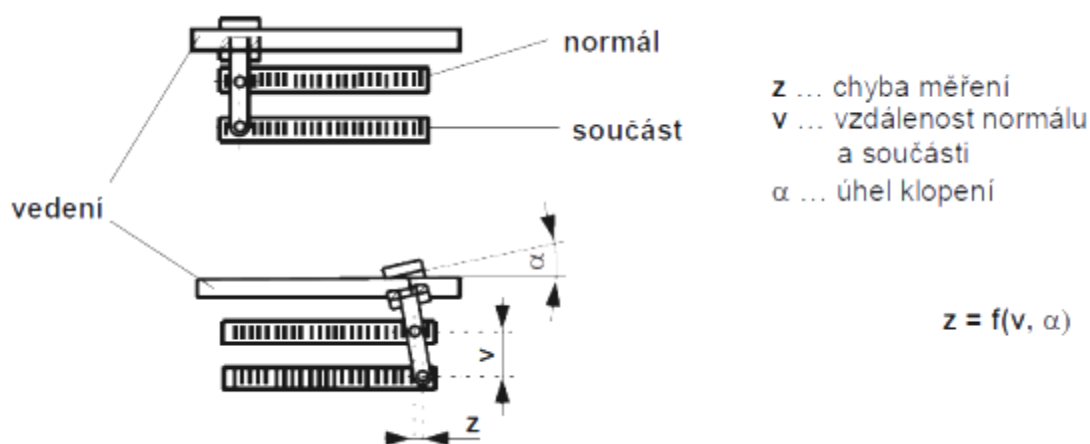
Metrologická konfirmace zahrnuje kalibraci a ověřování používaného vybavení a musí být navržena a zaváděna tak aby používané vybavení splňovalo požadavky na něho kladené a zabezpečovalo správný proces měření. [11]

Příklady možných požadavků na délkoměry:

- rozsah,
- opakovatelnost,
- stálost,
- hystereze,
- citlivost,
- vlivy ovlivňujících veličin.

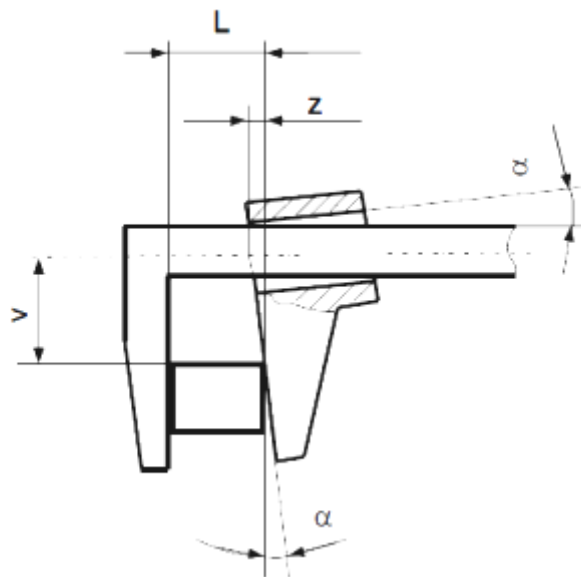
3.11 Vliv konstrukce měřicího přístroje

Vlivem vůle ve vedení mohou u měřidel nastat chyby měření. V závislosti na konstrukci měřicího zařízení/ měřidla můžeme měřenou součást v měřidle umístit buď paralelně, nebo sériově. Díky pohybu měřicího přístroje vzniká vlivem odchylky přímosti vodící plochy a vůle v přístroji k malému naklonění přístroje, které způsobuje podle druhu uspořádání měřeného vzorku a normálovou chybu I. řádu případně chybu řádu II. Aby se při měření vyloučila chyba prvního řádu musí se dodržet Abbého princip. To znamená, že měřená součást a měřicí normál musí být umístěny tak, aby byli v jedné ose za sebou, pokud se tento princip nedodrží, vznikají chyby měření závislé na velikosti úhlu klopení. Chyba při nedodržení tohoto principu je znázorněna na Obr.3.11 [3]



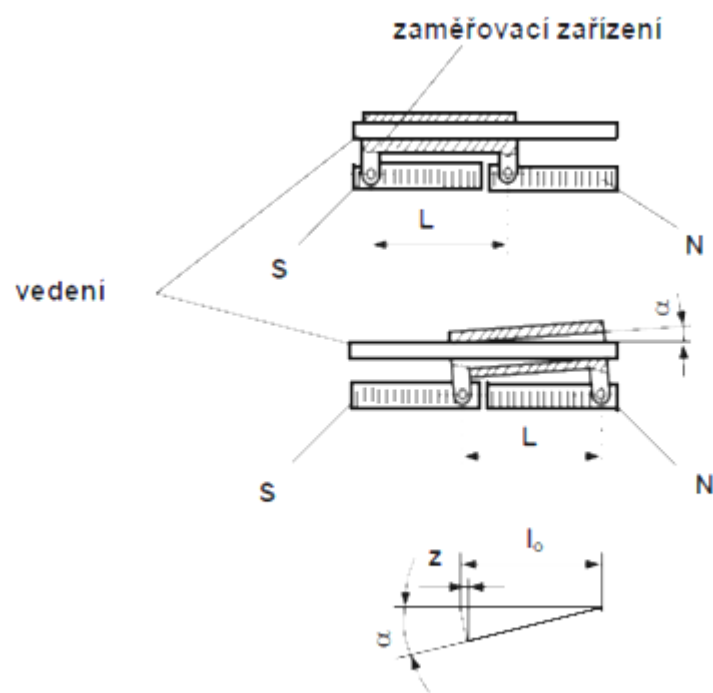
Obr.3.11 Ukázka chyby I.řádu [4]

Samozřejmě mohou nastat případy, že u některých měřidel nebude možné tento princip dodržet, v tomto případě se musíme snažit chybu prvního řádu minimalizovat. Velikost této chyby je přímo úměrná vzdálenosti osy měřidla a měřeného objektu. Dobrým ukázkovým případem kdy není Abbého princip dodržen může být posuvné měřítko.



Obr.č.3.11.1 Nedodržení principu u posuvného měřítka [5]

Jestli normál měřidla a součást splňují Abbého princip tak při vyklonění zaměřovacího zařízení vznikne úhel, který dá vzniknout chybě měření druhého řádu.



Obr.č.3.11.2 Chyby druhého řádu [4]

Kde:

z – chyba měření

L – vzdálenost mikroskopů

α – úhel klopení

$$z = L - L \cdot \cos \alpha = L \cdot (1 - \cos \alpha) \quad (3.7)$$

Rozvinutím $\cos \alpha$ do nekonečné mocninné řady a zjednodušením je možno napsat, že velikost chyby II. řádu z pro malé úhly klopení [5]:

$$z = \frac{L}{2} \cdot \alpha^2 \quad (3.8)$$

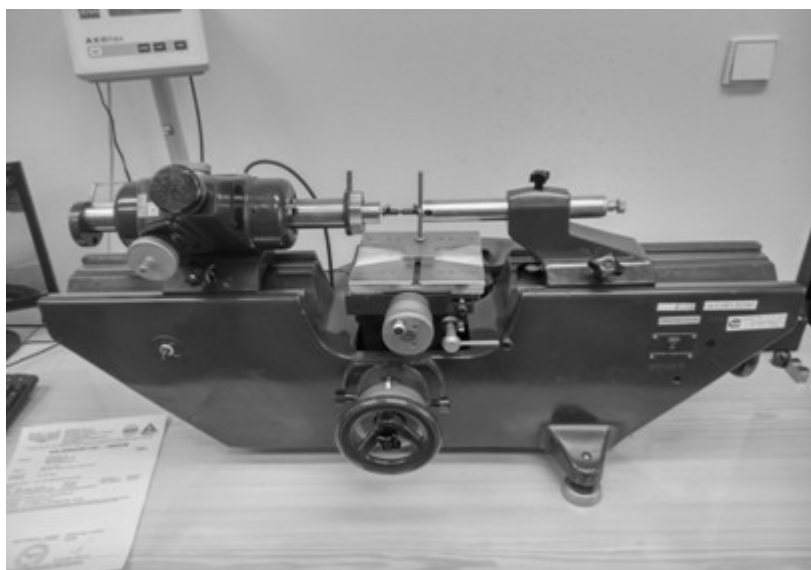
Chyba druhého řádu je přímo úměrná druhé mocnině úhlu klopení α . Chyba druhého řádu pro malé úhly α je menší než chyba prvního řádu.

4 Praktická část

Následuje popis samotného přístroje ZEISS450 spolu s jeho technickými údaji a možnostmi použití. Dále je popsán způsob měření délek na tomto přístroji do 100mm. Jsou zde popsány komponenty, které byly použity při digitalizaci spolu s finanční analýzou a také je zde popsán hrubý postup digitalizace. V závěru této kapitoly je ověření realizace digitalizace s vyhodnocením naměřeným hodnot před a po digitalizaci a jejich porovnání a celkové zhodnocení přínosu digitalizace.

4.1 HORIZONTÁLNÍ DÉLKOMĚŘ ULM 450 ZEISS

Univerzální délkoměry mají velké využití hlavně ve strojírenství ke kalibraci pevných měřidel jako průměrové kalibry vnitřní i vnější, délkové kalibry, kalibry závitové, dále také ke kalibraci etalonů apod. Univerzální délkoměr je jemnomechanický optický přístroj pro přímá měření a pro porovnávací měření. Jeho všestranné použití je umožněno universálními ložemi, na která se upevňují mnohá měřicí a zkušební zařízení spolu s mimořádným příslušenstvím. Jedná se o horizontální délkoměr pro přesná měření velkých rozměrů s vyloučením chyby I. řádu. Na vedení tuhého lože je posuvný koník spojený s optickou soustavou, který se může posouvat po celé délce lože, proti koníku je umístěna měřicí hlava s odečítacím mikroskopem s hlavicí optimetru. Pod měřicí hlavou je skleněná stupnice s dílky po 0,1 mm na délce 100mm, ve stejné ose jsou v loži od sebe umístěné skleněné destičky s vyrytými zdvojenými ryskami ve vzdálenosti 100 mm. Nastavnými rameny je možné také měřit vnitřní rozměry, rozsah měření je 0-3000(6000)mm.



Obr.č. Délkoměr Carl Zeiss ULM 450

4.2 Technické údaje přístroje [14]

Hodnota stupnice

Měřicí stupnice (odečítání okulárem)	1 μ m
Rozsah měření	0 ÷ 100 mm

Rozsah použití

Pro měření vnějších rozměrů

bez použití paralelních základních měrek	0 ÷ 100 mm
s paralelními základními měrkami	0 ÷ 450 mm
s hrotovým stojanem	do 200 mm

Pro měření vnitřních rozměrů

s malými vnitřními oblouky (hloubka ponoru do 12 mm)	10 ÷ 200 mm
s velkými vnitřními oblouky (hloubka ponoru do 50 mm)	30 ÷ 200 mm
se světelně-elektrickým dotykovým zařízením	1 ÷ 50 mm
Pro měření vnějších rozměrů závitů	do \varnothing 200mm

Pro měření vnitřních rozměrů závitů

s malými oblouky na měření vnitřních rozměrů	od 14 mm průměru jádra
s velkými oblouky na měření vnitřních rozměrů	od 35 mm průměru jádra

Nastavovací rozsah stolu

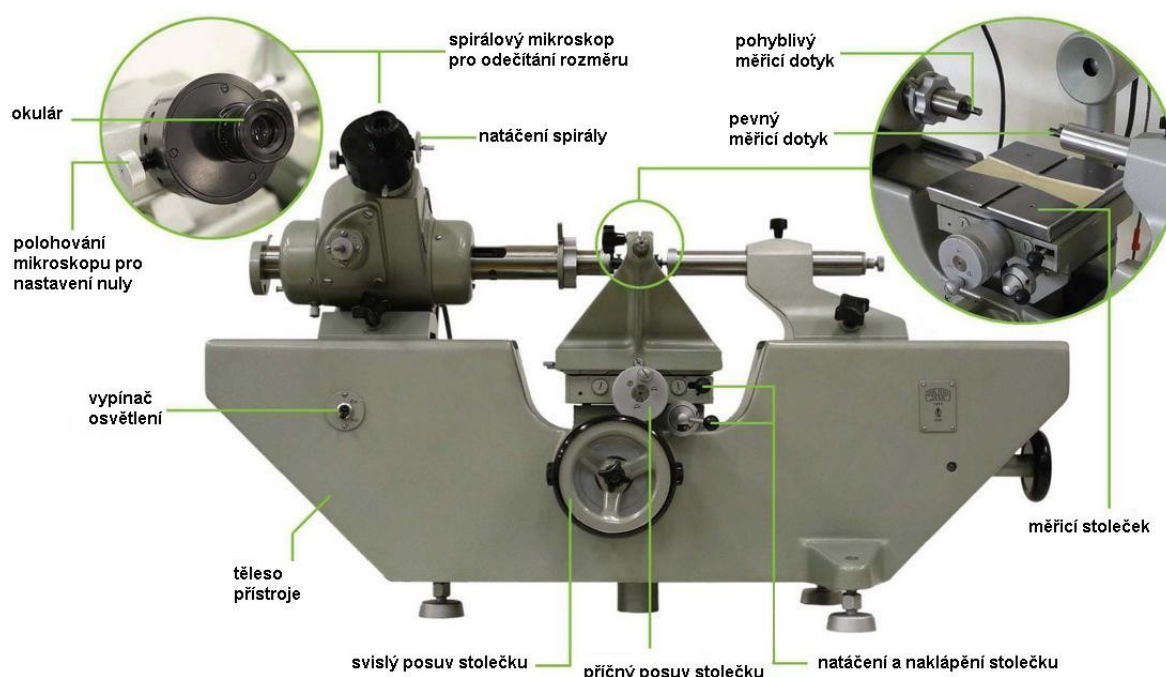
na výšku	0 ÷ 105 mm
ve směru „y“	0 ÷ 25 mm
naklonění ve směru měření	$\pm 3^\circ$
možnost výchylky	$\pm 4^\circ$

Rozměry přístroje

délka	890 mm
šířka	350 mm
výška	500 mm
plocha na postavení přístroje	320 x 480 mm
váha	asi 85 kg

4.3 Popis přístroje

Univerzální dotykový délkoměr německé firmy Carl Zeiss Jena se skládá z lože, předmětového stolku, měřicí hlavice a koníku. Předmětový stůl má veškeré pohyby k exaktnímu měření různých geometrických tvarů součástí. Měřicí hlavice se skládá z měřicí pinoly, lehce pohyblivé na kuličkových lůžkách, se zabudovaným měřítkem délky 100 mm, z odečítacího spirálového mikroskopu, osvětlovače a závaží k nastavení konstantního měřicího tlaku. Měřicí zařízení je uloženo na robustním litinovém loži, dobře tlumícím vibrace. Pro měření rozměrnějších těžších těles je délkoměr vybaven ruční kompenzací hmotnosti.[8]



Obr.4.3 Univerzální délkoměr Zeiss- schéma [17]

Spirálový mikroskop má v okuláru viditelné dvě destičky: otočnou a pevnou. Na otočné destičce je desetichodá Archimédova spirála jejíž stoupání je 0,1 mm. Otočná destička je uložena excentricky k optické ose mikroskopu, takže v zorném poli okuláru mikroskopu vidíme pouze její část, která se nám jeví jako soustava soustředných kruhů. Dále je na otočné destičce kruhová stupnice ke čtení setin a tisícín milimetru, rozdělená na 100 dílků. Jeden dílek této stupnice, jehož zdánlivá velikost v mikroskopu je 6 mm, představuje hodnotu 1 μ m. Na pevné destičce je stupnice, na které se čtou desetiny milimetru.[8]

Pohybem točítka se dvojité čárce libovolného chodu spirály nastaví na čárku milimetrové stupnice měřítka, která je vidět v zorném poli okuláru. Měřená hodnota se pak zjistí z dílčích čtení. V současnosti se v průmyslu univerzální délkoměr Zeiss používá zpravidla v digitalizovaném provedení.

Přesnost je nejméně (spíše větší) $\pm 2 \mu\text{m}$ pro délky do 100 mm. Lze zvýšit pomocí opravných koeficientů, které jsou přiloženy ke každému délkoměru.

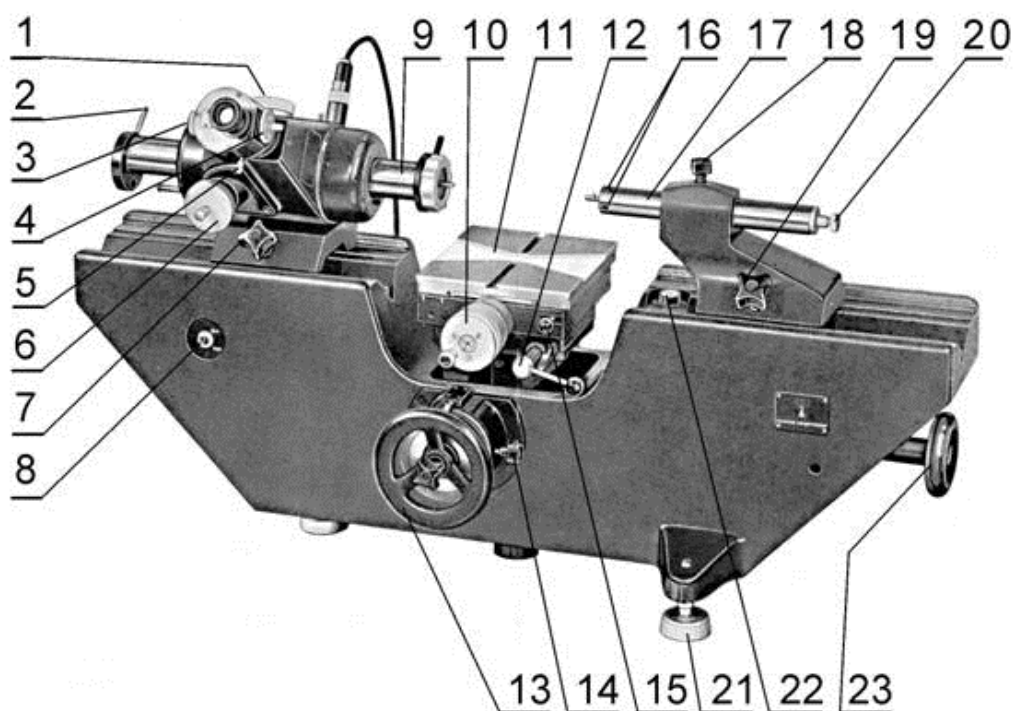
Měření se provádí pomocí pevného a pohyblivého doteku. Poloha pohyblivého doteku je odečítána pomocí mikroskopu na skleněné přesně ryté stupnici. Přístroj je vybaven rozmanitým příslušenstvím umožňujícím měření vnitřních a vnějších rozměrů, závitů, měření rozdílů rozměrů. Přímé měření je možné do 100 mm. Větší rozměry je možné měřit kombinací přímého a nepřímého měření. Podrobný návod na práci s délkoměrem je uveden v dílenském návodu od firmy Carl Zeiss Jena.

Odečítání se provádí mikroskopem prostřednictvím tří stupnic: milimetrové, desetinové a speciální odečítací spirály s mikronovým dělením.

Pro přesná a spolehlivá měření v submikronové oblasti je nutno přístroj přesně vypořadovat do vodorovné polohy. Stačí pohyb obsluhy přístroje a pružná podlaha laboratoře měření vykoná své. Přesto se budeme snažit o vodorovnou polohu přístroje.

Dále je potřeba dbát na kompenzaci délkové roztažnosti těles. Například pouhopouhý krátký dotek měřky délky 100 mm holou rukou způsobí prodloužení o 3 až 5 μm . Proto se používání rukavic, dříve se doporučovaly jelenicové nebo asbestové, dnes se spokojíme s tím, co máme, není to módní výstřelek, ale opatření diktované dvěma důvody: 1. přesnost měření, 2. pot je agresivní a způsobuje korozi a znehodnocování například koncových měrek, což jistě nechceme.

[18]

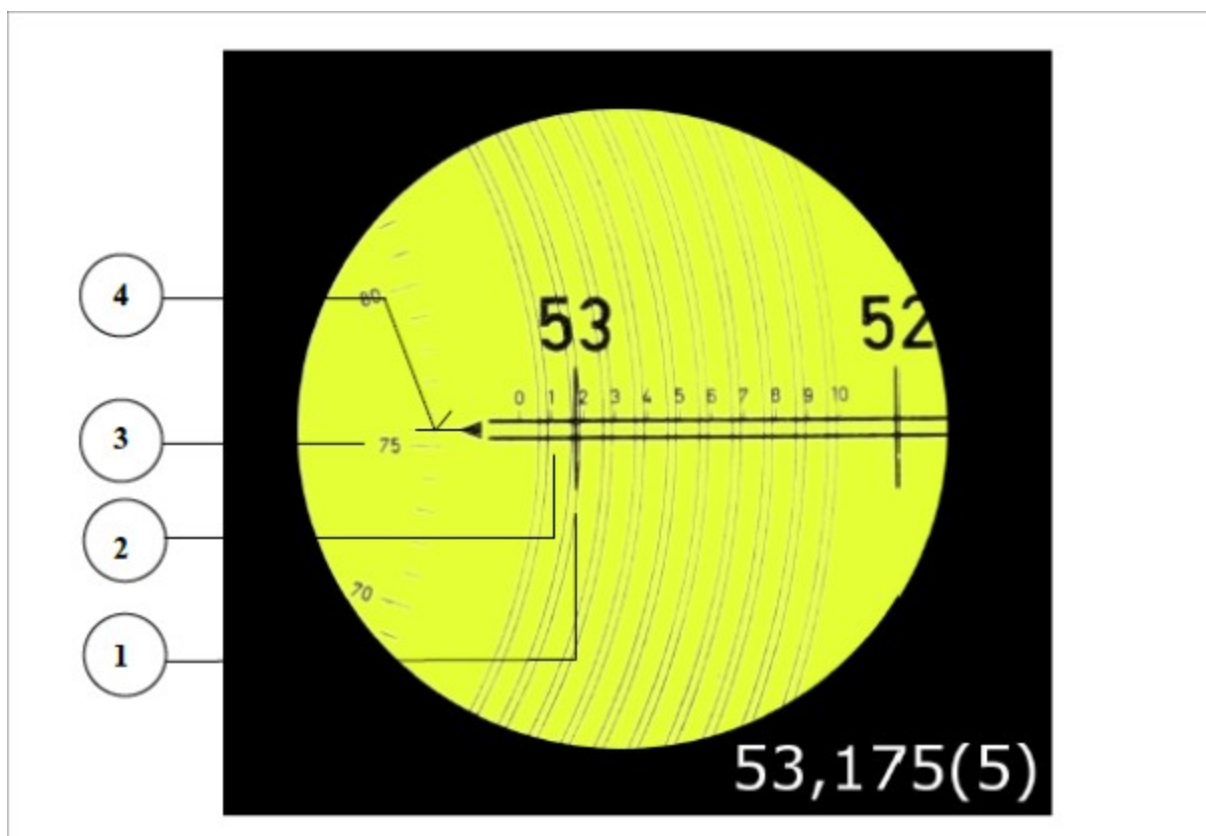


Obr. 4.3.1 Schéma délkoměru ULM 450 Zeiss [7]

4.4 Základní postup měření délek do 100 mm

1) Nastavení stupnice na nulu. Vypínačem zapneme osvětlení mikrometrické stupnice. Pohyblivou pinolu (9) vysuneme vpravo do krajní polohy. Pevnou pinolu (17) po uvolnění aretačního šroubu (19) posuneme tak, aby se dotýkala pohyblivé pinoly. Pevnou pinolou můžeme pohybovat po uvolnění objímky (18) ve vodicím pouzdře. K jemnému doladění je připraven šroub (20). Rovnoběžnost rovinných doteků pinoly seřídíme šrouby (16). [18]

2) Otáčíme jimi tak, abychom docílili nejmenší výchylky na měřicí stupnici (podobný princip, jako hledání průměru při měření úchylkoměry). Šroubem (3) nastavíme de-setinnou stupnici na nulu (svislá ryska je uprostřed dvojité spirály na nule desetinné stupnice). Šroubem (4) nastavíme mikronovou spirálu na hodnotu 0. Tím je nastavení nulové hodnoty hotové. Ještě zkontrolujeme, zda je vše co má být zajištěno opravdu utaženo. Šrouby (7), (18), (19). [18]



Obr.4.4 Odečet na stupnici délkoměru [8]

- 1 - milimetrová stupnice. Milimetry jsou dány čárkou měřítka symetricky nastavenou vzhledem ke dvojité spirále.
Hodnota 53,000(0) mm,
- 2 - desetiny milimetru jsou dány nižším číslem z obou hodnot desetinné stupnice, mezi kterými ukazatel (čárka) milimetrového měřítka.
Hodnota 0,100(0) mm.
- 3 - setiny a tisíciny milimetru jsou dány ukazatelem na kruhové stupnici.
Hodnota 0,075(0) mm.
- 4 - desítitisíciny se odhadují. Hodnota 0,000(5) mm.

Celková hodnota odečteného rozměru je pak **53,175(5) mm.**

3) Šroubem (13) zvedneme měřicí stůl (11) do pracovní polohy a ustavíme jej do vodorovné polohy. Odsuneme pohyblivou měřicí pinolu a měřené těleso uložíme na měřicí stůl. Pomocí mikrometrického šroubu (10) přesně ustavíme měřené těleso. Přisuneme měřicí pinolu. Zkontrolujeme oba doteky, pevný a pohyblivý. Mikrometrickým šroubem nastavíme dvojitou spirálu do středu svislé rysky. Odečteme naměřené hodnoty, viz *Obr.č.4.4* . [18]

4.5 Možnosti použití stroje [14]

Použijeme-li jednotlivých částí příslušenství přístroje a jeho doplňků je možné provádět tyto měření:

Měření vnějších rozměrů zkušebních vzorků

- s rovnými paralelními měřenými plochami,
- s kulovými měřenými plochami,
- válcového tvaru ve svislém postavení,
- válcového tvaru v horizontální poloze.

Měření vnitřních rozměrů

- zkušebních kusů s rovnými paralelními měřenými plochami,
- vývrtů pomocí měřících oblouků,
- vývrtů pomocí světelně-elektrického dotykového zařízení,

Měření závitů

- závity vnitřní,
- závity vnější.

5 Finanční zhodnocení

Pořízení nového přístroje v našem případě délkoměru představuje finanční výdaj, který může firmu přijít na desetitisíce korun v některých případech dražších přístrojů i milionů korun. Sice starší, ale po mechanické stránce stále kvalitní přístroj lze modernizovat v cenové hladině pohybující se v řádu desítek tisíc korun, což může být pro menší podniky značná výhoda. Výhoda modernizace je ta že si stačí dokoupit potřebné komponenty dle potřeb a požadavků zákazníka, který přístroj vlastní. Na trhu existuje velký počet firem, které tyto modernizace přístrojů provádějí, takže je z čeho vybírat. Po průzkumu trhu a vybrání vhodných komponentů, které budou při digitalizaci použity jsem se rozhodl uvést nabídky následujících firem Topmes a Renishaw.

Tab.5 Nabídky firmy Topmes na celkovou digitalizaci

Položka	Specifikace dodávky	Typ	Cena [Kč]
1	digitální odměřovací hlava, krok 0,1 mikrom	RGH24Y30D	27 400
2	měřicí pásek Renishaw 0,1mikrom	RGS-S	1 596
3	koncová sada (2ks)	RGC-F	710
4	lepící sada araldit2004	RGG-1	3140
5	upevňovací přípravek+montáž hlavičky	RGH24Y30D	4860
6	instalace odměřování, úprava kabelu, konektor	Topmes	3000
7	čítačová karta do PC	IEPC-PCI	13150
8	nožní spínač upravený pro kartu IEPC-PCI	Mitutoyo	1200
9	Délkoměr-měřicí software	Comparator	8800
10	cestovní náklady	osobní	neúčtuje se
11	ztráta času na cestě, diety	Topmes	neúčtuje se
12	proměření laserem,nelin.korekce	Renishaw ML	5000
13	sestavení korekční matice pro nelineární korekce	Topmes	zahrnuto
14	off-line zpracování kalibračního listu VDI/VDE 2617	Topmes	3500
Cena celkem			72356

Tab.5.1 Nabídka firmy Renishaw

Katalogové číslo	Popis	Množství	Cena [EUR]
RGH22Y10D62A	RGH22 0,1UM 1M CABLE 10MHZ	1	649,69
A-9517-004	RGS20-S SCALE SELF ADHESIVE (M) - (B2B)	1	314
A-9531-0250	RGM22S REFERENCE MARK (EPOXY)	1	13,13
A-9523-4015	RGC-F END CLAMP KIT (ADHESIVE)	1	16,79
A-9531-0342	GLUE KIT (SACHET)	1	4,4
A-9531-0262	ADAPTOR KIT B (AL)	1	5,25
Přepravné	Přepravné	1	7
			Cena celkem 1010.26

Tab.5.2 Nabídka firmy Topmes na software Comparator s licenci

Položka	Popis	Množství	Cena s DPH[Kč]
1	karta IEPC S/N: 2100015	1	10648
2	Software Comparator -licence	1	13673
			Cena celkem 24321

6 Komponenty pro digitalizaci, vyhodnocovací software

V této kapitole budou popsány komponenty, které se použili k digitalizaci délkoměru ZEISS 450 v prostorech firmy UNIMETR, spol. s.r.o. Tyto komponenty byly vybrány na základě průzkumu trhu, našich požadavků a potřeb k uskutečnění digitalizace.

6.1 Odměřovací pravítko Renishaw RGH22

Tento bezdotykový optický lineární systém je pro polohové zpětné vazby. Systém používá běžný reflexní páskové měřítko, které je snímáno čtecí hlavou vybranou z řady možností, který nabízí průmyslový standard digitálního obdélníkového nebo analogového sinusového formátu výstupního signálu. Optický systém, který si patentovala firma Renishaw se používá v celé řadě čtecích hlav a poskytuje zaručené zvýšení výkonu spolu s vysokou tolerancí měřítka kontaminace. Snímače řady RGH 22 jsou vhodné pro použití v širokém rozsahu aplikací, tato řada nabízí vysoké rozlišení a vysokou rychlost spolu se stabilitou a spolehlivostí. [19]

Snímač RGH22 je ideálním řešením všude tam, kde je vyžadována zpětná vazba na přesnost řízeného pohybu. Snímací hlavy RGH22 mohou nabídnout kompletní sadu funkcí RG2 a integrální interpolaci v robustním obalu, s integrovaným nastavením LED pro rychlou a snadnou instalaci. Běžné aplikace zahrnují koordinaci měřicí a rozvržení strojů, výrobu polovodičů, elektroniky a jejich kontroly, výškoměry, elektronické montáže a testování, lineární motory a širokou škálu řešení na zakázku. Schéma ustavení snímače, viz.Příloha D. [19]



Obr.6.1 Odměřovací snímač Renishaw RGH22

6.2 Vyhodnocovací softwarový program Comparator verze 6.0

Použití programu

Program slouží k automatizaci měření, sběru a zpracování hodnot na digitalizovaném délkoměru. Vstupní signál je zpracován počítačem pomocí známého a podporovaného měřicího hardwaru (měřicí karta, display souřadnic) Měřené hodnoty jsou zobrazovány na displeji a dále shromažďovány a zpracovávány. [15]



Obr.5.2 Příslušenství dodané k softwaru Comparator verze 6.0

Popis funkce

Software Comparator je jednoduchý displej souřadnic s možností nulování a zadávání přednastavené hodnoty. Dále umožňuje zaznamenávat aktuálně zobrazené rozměry pomocí nožního spínače do seznamu naměřených hodnot, které jsou opatřeny datumem a časem, navíc se k těmto naměřeným hodnotám může přidat vlastní komentář. [15]

Pomocí nožního snímače je možno měřené hodnoty ukládat do paměti a poté je buďto uložit do souboru, nebo pomocí systému Windows do nějaké jiné aplikace (např. MS Wordpad, MS Excel, MS Word, Lotus atd.) [15]



Obr.5.2.1 Ukázka prostředí softwaru Comparator [13]

Tento odměřovací program byl zvolen na základě jeho jednoduchosti a zkušeností pracovníků firmy se starší verzí tohoto programu. Jako další příklad metrologického softwaru bych uvedl software firmy Renishaw – MODUS, nebo také software německé firmy L&W GmbH – QMSOft.

7 Realizace digitalizace

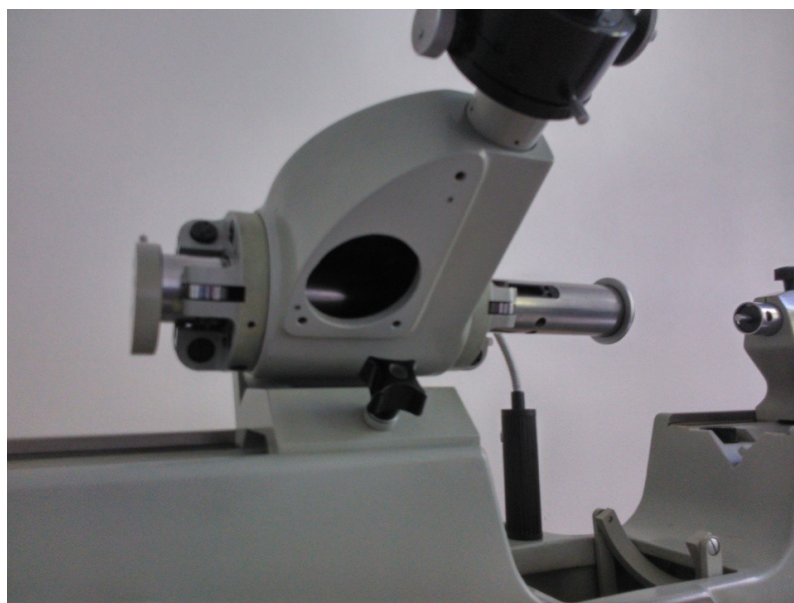
Vlastní realizaci digitalizace délkoměru ZEISS 450 si firma UNIMETRA zajišťovala sama. Pokuším se nastínit jak bude samotný proces probíhal.

Odstranění pinoly a očištění všech částí přístroje.



Obr.7 Demontovaný délkoměr ZEISS 450

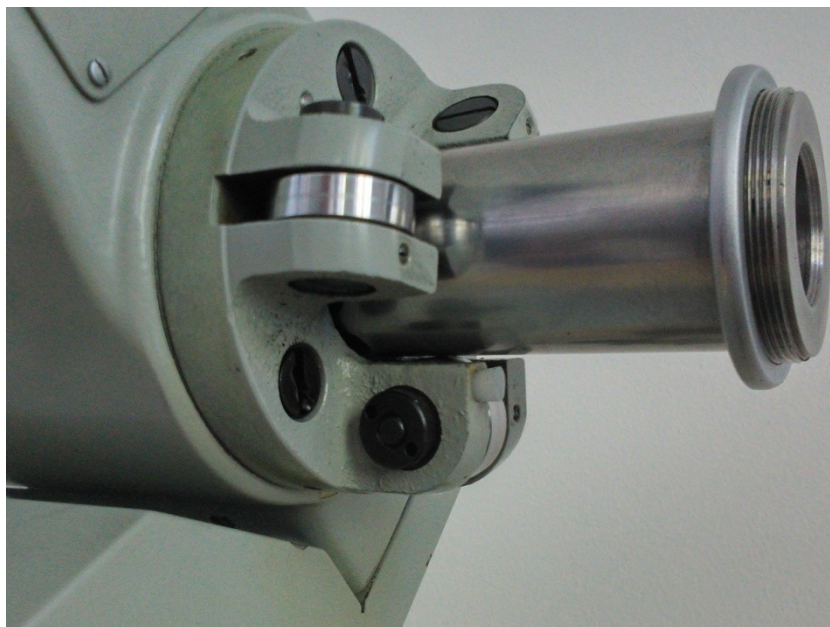
Umístění měřicího snímače do prostoru měřící hlavy.



Obr.7.1 Měřící hlava přístroje

Očištění a odmaštění funkčních, nanesení lepidla a přitlačení měřícího pásku a samozřejmě vytvrzení lepidla.

Umístění měřícího pásku bylo provedeno ve spodní části pinoly mezi vodícími rolkami z důvodu zachování původní optiky. Na délkoměru se bude moct odečítat jak mechanicky tak digitálně.



Obr.7.2 Prostor pod pinolou kde se bude vkládat měřící pásek

Provedení série několika měření a na základě těchto měření provedení následné lineární korekce.

8 Praktické ověření návrhu

Měření koncových měrek před a po digitalizaci

Pro ověření vhodnosti návrhu byly zvoleny hodnoty koncových měrek o jmenovitých rozměrech: 0; 5; 10; 25; 50; 75; 100 mm 4. řádu.

Tyto hodnoty byly zvoleny tak, aby se dosáhlo co největšího pokrytí hodnot 0 -100 mm. Ukázka výpočtu odchylek před a po digitalizaci bude provedena pro hodnotu měrky 5 mm. Zbylé naměřené hodnoty měrek a jejich odchylky budou zpracovány tabulkově.

Podmínky měření:

Teplota: 20 °C

8.1 Ukázka výpočtu odchylek pro základní měrku 5 mm před digitalizací délkoměru

Zbylé naměřené hodnoty měrek a jejich odchylky budou zpracovány tabulkově, viz. *Příloha A*.

Tab.8.1 Naměřené hodnoty pro koncovou měrku $JR=5mm$

Číslo měření	Naměřená hodnota [mm]	$x_i - \bar{x}$ [mm]	$(x_i - \bar{x})^2$ [mm ²]
1.	5,0001	-0,00021	0,0000000441
2.	5,0003	-0,00001	0,0000000001
3.	5,0002	-0,00011	0,0000000121
4.	5,0003	-0,00001	0,0000000001
5.	5,0002	-0,00011	0,0000000121
6.	5,0003	-0,00001	0,0000000001
7.	5,0005	0,00019	0,0000000361
8.	5,0004	0,00009	0,0000000081
9.	5,0005	0,00019	0,0000000361
10.	5,0003	-0,00001	0,0000000001
Suma Σ	50,0031		0,0000001490

x_i ... naměřená hodnota

\bar{x} ... výběrový průměr

n ... počet měření

Výpočet standardní nejistoty typu A

Výběrový průměr [21]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (8.1)$$

$$\bar{x} = \frac{50,0031}{10} = 5,00031 \text{ mm}$$

Výběrová směrodatná odchylka [21]

$$S_{(x)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (8.2)$$

$$S_{(x)} = \sqrt{\frac{0,0000001490}{10-1}} = 0,0013 \text{ mm}$$

Směrodatná odchylka dílčích aritmetických průměrů [21]

$$S_{(\bar{x})} = \frac{S_{(x)}}{\sqrt{n}} \quad (8.3)$$

$$S_{(\bar{x})} = \frac{0,00013}{\sqrt{10}} = 0,000041 \text{ mm}$$

Standardní nejistota typu A [21]

$$u_A = S_{(\bar{x})} = 0,000041 \text{ mm} = 0,041 \text{ } \mu\text{m} \quad (8.4)$$

Výpočet standardní nejistoty typu B

Vzhledem k tomu že se výpočet u standardní nejistoty typu B řídí zkušeností, započítáním vlivů, které by mohly ovlivnit měření tak by mohlo být její určení obtížné. Vytyčení možných vlivů na výsledek měření může doporučit výrobce anebo je dáno ze zkušenosti. Po konzultaci s pracovníky kalibrační laboratoře, kteří mají větší zkušenosti s měřením bylo dohodnuto, že do výpočtu nejistoty typu B budou zahrnuty tyto zdroje nejistot měření:

- Nejistota kalibrace koncové měrky,
- Chyba způsobená odečítáním na stupnici délkoměru,
- Nejistota způsobená teplotním rozdílem mezi KM a délkoměrem,
- Nejistota způsobená vlivem odchylky teploty okolí při kalibraci od 20°C.

Nejistota kalibrace koncové měrky [21]

$$u_{B1} = \frac{z_1}{2} \cdot c_1 \quad (8.5)$$

z_1 ... pro koncové měrky 4. řádu $U = (0,2 + 2L) \mu\text{m}$, délka L [m].

c_1 ... koeficient citlivosti $c_1 = 1$

$$u_{B1} = \frac{(0.2 + 2 \cdot 0.005)}{2} \cdot 1 = 0.105 \mu\text{m}$$

Chyba způsobená odečítáním na stupnici délkoměru (odhad) [21]

Dělení stupnice: 0,001 mm

Odhad odečtu $z_2 = \pm 0,5 \mu m$ Koeficient citlivosti $c_2 = 1$

Rovnoměrné rozdělení

$$u_{B2} = \frac{z_2}{\sqrt{3}} \cdot c_2 \quad (8.6)$$

$$u_{B2} = \frac{0,5}{\sqrt{3}} = 0,288675 \mu m$$

Nejistota způsobená teplotním rozdílem mezi koncovou měrkou a délkoměrem [21]Odhad $\delta_{T20} = \pm 0,2 \text{ } ^\circ C$ Koeficient teplotní roztažnosti koncové měrky $\alpha_1 = (11,5 \pm 1) \cdot 10^{-6} K^{-1}$ Koeficient teplotní roztažnosti skleněného měřítka $\alpha_2 = (8 \pm 1) \cdot 10^{-6} K^{-1}$

$$\text{Koeficient citlivosti } c_3 = \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} \cdot L \quad (8.7)$$

L ... měřená délka koncové měrky [m].

$$u_{B3} = \frac{\delta_T}{\sqrt{3}} \cdot c_3 \quad (8.8)$$

$$u_{B3} = \frac{0,2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{19,5}{2} \cdot 0,005 = 0,005629 \mu m$$

Nejistota způsobená vlivem odchylky teploty okolí při kalibraci od 20°C [21]

$$\delta_T = \pm 1^\circ\text{C}$$

$$\text{Pro mechanický } (\alpha_1 - \alpha_2) = 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{Koeficient citlivosti } c_4 = L$$

L ... měřená délka koncové měrky v [m].

$$u_{B4} = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\delta_{T20}}{\sqrt{3}} \cdot c_4 \quad (8.9)$$

$$u_{B4} = \frac{3,5}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 0,005 = 0,005833 \mu\text{m}$$

Výpočet výsledné nejistoty typu B [21]

$$u_B^2 = u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + u_{B4}^2 \quad (8.10)$$

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + u_{B4}^2} = \sqrt{0,01103 + 0,08333 + 0,00003 + 0,00003}$$

$$u_B = \sqrt{0,09442} = 0,307285 \mu\text{m}$$

Kombinovaná standardní nejistota pro pravděpodobnost cca p=68% [21]

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (8.11)$$

$$u = \sqrt{0,041^2 + 0,307285^2} = 0,309967 \mu\text{m}$$

Rozšířená nejistota měření pro pravděpodobnost 95% [21]

k ... koeficient rozšíření pro pravděpodobnost 95% = 2

$$U = k \cdot u \quad (8.12)$$

$$U = 2 \cdot 0,309967 = 0,61993 \cong 0,62 \mu\text{m}$$

8.2 Ukázka výpočtu odchylek pro základní měрку 5 mm po digitalizaci délkoměru

Podmínky měření

Teplota :20 °C

Tab.8.2 Naměřené hodnoty pro koncovou měрку JR=5mm

Číslo měření	Naměřená hodnota [mm]	$x_i - \bar{x}$ [mm]	$(x_i - \bar{x})^2 [mm^2]$
1.	5,0003	0,00005	0,0000000025
2.	5,0002	-0,00005	0,0000000025
3.	5,0002	-0,00005	0,0000000025
4.	5,0003	0,00005	0,0000000025
5.	5,0003	0,00005	0,0000000025
6.	5,0003	0,00005	0,0000000025
7.	5,0003	0,00005	0,0000000025
8.	5,0002	-0,00005	0,0000000025
9.	5,0002	-0,00005	0,0000000025
10.	5,0002	-0,00005	0,0000000025
Suma Σ	50,0025		0,0000000250

x_i ... naměřená hodnota

\bar{x} ... výběrový průměr

n ... počet měření

Výpočet standardní nejistoty typu A

Výběrový průměr [21]

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (8.13)$$

$$\bar{x} = \frac{50,0025}{10} = 5,00025 \text{ mm}$$

Výběrová směrodatná odchylka [21]

$$S_{(x)} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (8.14)$$

$$S_{(x)} = \sqrt{\frac{0,0000000250}{10-1}} = 0,00005 \text{ mm}$$

Směrodatná odchylka dílčích aritmetických průměrů [21]

$$S_{(\bar{x})} = \frac{S_{(x)}}{\sqrt{n}} \quad (8.15)$$

$$S_{(\bar{x})} = \frac{0,00005}{\sqrt{10}} = 0,000017 \text{ mm}$$

Standardní nejistota typu A [21]

$$u_A = S_{(\bar{x})} = 0,000017 \text{ mm} = 0,017 \text{ } \mu\text{m} \quad (8.16)$$

Výpočet standardní nejistoty typu B

Vzhledem k tomu že se výpočet u standardní nejistoty typu B řídí zkušeností, započítáním vlivů, které by mohly ovlivnit měření tak by mohlo být její určení obtížné. Vytyčení možných vlivů na výsledek měření může doporučit výrobce anebo je dáno ze zkušenosti. Po konzultaci s pracovníky kalibrační laboratoře, kteří mají větší zkušenosti s měřením bylo dohodnuto, že do výpočtu nejistoty typu B budou zahrnuty tyto zdroje nejistot měření:

- Nejistota kalibrace koncové měrky
- Chyba způsobená odečítáním na stupnici délkoměru
- Nejistota způsobená teplotním rozdílem mezi KM a délkoměrem
- Nejistota způsobená vlivem odchylky teploty okolí při kalibraci od 20°C

Nejistota kalibrace koncové měrky [21]

$$u_{B1} = \frac{z_1}{2} \cdot c_1 \quad (8.17)$$

z_1 ...pro koncové měrky 4.řádu $U = (0,2+2L) \mu\text{m}$, délka L [m].

c_1 ... koeficient citlivosti $c_1 = 1$

$$u_{B1} = \frac{(0,2 + 2 \cdot 0,005)}{2} \cdot 1 = 0,105 \mu\text{m}$$

Chyba způsobená odečítáním na stupnici délkoměru (odhad) [21]

Dělení stupnice: 0,0001 mm

Odhad odečtu $z_2 = \pm 0,1 \mu\text{m}$

Koeficient citlivosti $c_2 = 1$

$$u_{B2} = \frac{z_2}{\sqrt{3}} \cdot c_2 \quad (8.18)$$

$$u_{B2} = \frac{0,1}{\sqrt{3}} = 0,057735 \mu\text{m}$$

Nejistota způsobená teplotním rozdílem mezi koncovou měrkou a délkoměrem [21]

$$\text{Odhad } \delta_{T20} = \pm 0,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\text{Koeficient teplotní roztažnosti ocelového měřítka } \alpha_2 = 11,5 \cdot 10^{-6} \pm 1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{Koeficient citlivosti } c_3 = \alpha_2 \cdot L$$

L ... měřená délka koncové měrky [m].

$$u_{B3} = \frac{\delta_T}{\sqrt{3}} \cdot c_3 \quad (8.19)$$

$$u_{B3} = \frac{0,2}{\sqrt{3}} \cdot 11,5 \cdot 0,005 = 0,00664 \text{ } \mu\text{m}$$

Nejistota způsobená vlivem odchylky teploty okolí při kalibraci od 20°C [21]

$$\delta_T = \pm 1^\circ\text{C}$$

$$\text{Pro mechanický } (\alpha_1 - \alpha_2) = 2 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$\text{Koeficient citlivosti } c_4 = L$$

L ... měřená délka koncové měrky v [m]

$$u_{B4} = \frac{(\alpha_1 - \alpha_2)}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\delta_{T20}}{\sqrt{3}} \cdot c_4 \quad (8.20)$$

$$u_{B4} = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 0,005 = 0,003333 \text{ } \mu\text{m}$$

Výpočet výsledné nejistoty typu B [21]

$$u_B^2 = u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + u_{B4}^2 \quad (8.21)$$

$$u_B = \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2 + u_{B3}^2 + u_{B4}^2} = \sqrt{0,01103 + 0,00333 + 0,00004 + 0,00001}$$

$$u_B = \sqrt{0,01441} = 0,120056 \text{ } \mu\text{m}$$

Kombinovaná standardní nejistota pro pravděpodobnost 68% [21]

$$u = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (8.22)$$

$$u = \sqrt{0,00028^2 + 0,014414^2} = 0,121208 \mu m$$

Rozšířená nejistota měření pro pravděpodobnost 95% [21]

k ... koeficient rozšíření pro pravděpodobnost 95% = 2

$$U = k \cdot u \quad (8.23)$$

$$U = 2 \cdot 0,121208 = 0,2424 \cong 0,24 \mu m$$

9 Tabulkové porovnání naměřených hodnot před digitalizací a po digitalizaci a jejich zhodnocení

Tab.9 Porovnání naměřených hodnot

hodnota měrky	naměřená hodnota před digitalizací [mm]	naměřená hodnota po digitalizaci [mm]
0	(0±0,0006)	(0±0,00023)
5	(5,00046±0,00062)	(5,00040±0,00024)
10	(10,00012±0,00062)	(10,0003±0,00025)
25	(25,00056±0,00064)	(25,00059±0,00029)
50	(50,00058±0,00067)	(50,00062±0,00036)
75	(75,00079±0,00072)	(75,00055±0,00043)
100	(100,0012±0,00078)	(99,99939±0,00051)

Zhodnocení z hlediska naměřených hodnot

Z daného tabulkového porovnání naměřených hodnot opravených o chybu koncového měrky, které byly pořízeny před a po samotné digitalizaci měřicího přístroje lze vidět, že samotné naměřené hodnoty se nijak výrazně nezměnily, tím myslím to že dané hodnoty jsou v tabulce zaokrouhleny na pět desetinných míst, po zaokrouhlení na čtyři desetinná místa, jako je schopnost měření na délkoměru se dozvíme že krom hodnot pro koncové měrky o hodnotách 10 a 75 které vykazují odlišnost 0,2μm se u ostatních odchylka před a po digitalizace pohybuje okolo hodnoty 0,1μm. Co se naopak výrazně změnilo, jsou hodnoty odchylek od skutečného naměřeného rozměru kontrolovaných měrek, které se v některých případech zmenšili více jak o polovinu.

Zhodnocení z hlediska efektu digitalizace

Takže se potvrdilo to, o čem jsem se v této práci zmínil již dříve a to že samotná digitalizace nemusí přinést zlepšení z hlediska přesnějšího odečítání naměřených hodnot. Zlepšení, které přinesla digitalizace, spočívá v právě již zmíněné minimalizaci vlivu obsluhy na výsledek měření, zrychlení a zautomatizování procesu měření, ale také v lepší manipulaci s naměřenými daty, které se budou dále zpracovávat v námi zvoleném softwaru.

Závěr

Tématem této diplomové práce, byla realizace digitalizace univerzálního délkoměru ZEISS ULM 450. Požadavek na vypracování této diplomové práce vznikl z potřeb firmy UNIMETRA, spol.s.r.o. ve které se realizovalo samotné měření a digitalizace.

V úvodu jsem popsal jak se vyvíjí požadavky na měřidla s vývojem vědy a techniky. Následovalo krátké představení firmy UNIMETRA, spol, s.r.o. a poté již následovala teoretická část práce kde bylo rozebrána problematika měření délek a návaznosti měřidel spolu s jejich rozdělením podle kategorií v souladu se zákonem 119/2000 Sb.

Také zde byly popsány měřicí přístroje a požadavky na ně kladené. Následovalo seznámení s nejistotami měření a jejich vyhodnocením.

V praktické části byl popsán přístroj na kterém se digitalizace prováděla s jeho technickými údaji a možnostmi použití. Navíc je zde popsán způsob měření délek do 100mm.

Před provedením digitalizace přístroje bylo nutné provést průzkum trhu vhodných komponentů spolu s jejich finanční analýzou a následným výběrem který by splňoval kritéria na něho kladená. Po provedení tohoto rozhodování byl vybrat vyhodnocovací program Comparator v. 6.0 a snímač firmy Renishaw RGH22. Následovalo popsání těchto komponentů. Také bylo hrubě popsán postup samotné digitalizace, kterou si firma prováděla sama.

V závěru této kapitoly následovalo praktické ověření digitalizace, které spočívalo ve vyhodnocení naměřených hodnot před a po digitalizaci spolu s jejich nejistotami měření.

Z vyhodnocení hodnot vyplývá, že co se naměřených hodnot týče tak krom hodnot pro koncové měřky o hodnotách 10 a 75 které vykazují odlišnost $0,2\mu\text{m}$ se u ostatních odchylka před a po digitalizace pohybuje okolo hodnoty $0,1\mu\text{m}$. Co se naopak výrazně změnilo, jsou hodnoty odchylek od skutečného naměřeného rozměru kontrolovaných měrek, které se v některých případech zmenšili více jak o polovinu.

Zhodnocení z hlediska efektu digitalizace potvrdilo to, že digitalizace u starších přístrojů nemusí zlepšovat měřicí schopnost daného přístroje. Tyto přístroje jsou mechanicky v pořádku a jedná se o modernizaci přístroje z hlediska lepší snížení vlivu obsluhy na proces měření a manipulace spolu s uchováváním naměřených dat, které lze následně zpracovávat v jiných programech.

Poděkování

Tím to bych chtěl poděkovat mé vedoucí práce paní Ing. Šárce Tiché, Ph.D. za její odborné rady a vedení během vypracovávání této diplomové práce, také vedení firmy UNIMETRA za umožnění vypracování této DP na přístrojích a v prostorách firmy, konkrétně panu Ing. Janu Vavřinovi za jeho ochotu a vstřícnost při postupu vypracovávání DP, panu Ing. Pavlu Mižičovi za odborné konzultace při vypracovávání odchylek měření, Panu Kamilu Kotlářovi za odborný dohled v průběhu měření.

Práce byla podpořena ze Studentské grantové soutěže Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava v rámci projektu SP2016/172 Vliv technologických parametrů na obrobený povrch a SP2016/174 Studium procesu obrábění progresivních materiálů s cílem zvýšit a podpořit vědecko-výzkumné aktivity studentů doktorských a magisterských studijních programů ve spolupráci s akademickými pracovníky.

V Ostravě dne: 16.5 2016

Bc. Jiří Skrál

Seznam použité literatury

- [1] UNIMETRA spol. s.r.o.: *známe řešení pro Vaše měření* [online]. Ostrava - Radvanice, 2016 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.unimetra.cz/cz/o-spolecnosti/>
- [2] M & B Calibr, spol. s.r.o.: *Ivančice* [online]. 2016 [cit. 2016-04-12]. Dostupné z: <http://www.mbcaltbr.cz/prodej-produkt-3508-lasero-vy-dalkomer-prexiso-x2.html>
- [3] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2004. 112s.ISBN 80-248-0671-1.
- [4] TICHÁ, Šárka; ADAMEC Jaromír. *Návody do cvičení z předmětu strojírenská metrologie* [online]. Ostrava, 2008 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/346/cs/studium/studijni-literatura/NAVODY-DO-CVICENI-Z-PREDMETU-strojirenska-metrologie.pdf>. Skripta. VŠB-TUO.
- [5] MLČOCH, Lubomír; SLIMÁK. Ivan. *Řízení kvality a strojírenská metrologie*. Praha: SNTL/ALFA Praha, 1987. 330 s.
- [6] КАЛИНИЧЕНКО, Анатолиевич Виктор. *Отдел поверки и калибровки средств измерительной техники геометрических величин и неразрушающего контроля: Эталоны и рабочие средства измерений геометрических величин*[online]. s. 37 [cit. 2016-04-19]. Dostupné z: http://www.hgcsms.kharkov.ua/rus/metr/docs/prezent_spkgv.pdf
- [7] [Http://www.scrigroup.com](http://www.scrigroup.com): *Měření Abbeho délkoměrem - Základní postup měření délek do 100 mm*[online]. 2016 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://www.scrigroup.com/limba/ceha-slovaca/51/Men-Abbeho-dlkomrem-Zkladn-posl1786.php>

- [8] *Střední průmyslová škola v Teplicích Předmět: Kontrola a měření ve strojírenství: MĚŘENÍ STYČNÉ CHYBY SESTAVENÍ ZÁKLADNÍCH MĚREK NA UNIVERZÁLNÍM DÉLKOMĚRU ZEISS* [online]. 2010, , 5 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: http://sps.watzke.cz/dl/KOM/ULOHA_3.1.3_MERENI_STYCNE_CHYBY_MEREK_NA_DELKOMERU_ZEISS.pdf
- [9] DOBEŠ, J. *Management jakosti pro kalibraci délkových měřidel* [online]. Brno, 2014. 53 s. Bakalářská práce. VUT, FSI v Brně. Dostupné z WWW: <https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=86029>.
- [10] ČESKÝ INSTITUT PRO AKREDITACI. *Dokument EA: EA - 4/02M :2013 Vyjádření nejistot měření při kalibraci*. Praha, 2014.
- [11] Právní předpisy v oblasti metrologie. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví [online]. 1990 [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: <http://www.unmz.cz/urad/pravni-predpisy-v-oblasti-metrologie>
- [12] Metrology s.r.o. *Metrology.cz* [online]. Brno, 2016 [cit. 2016-04-26]. Dostupné z: <http://www.metrology.cz/posuvna-meritka/digitalni/6-posuvne-meritko-scal-evo>
- [13] TOPMES: *Měřicí přístroje* [online]. Praha, 2013 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.topmes.cz/Technologie/Software/Comparator.html>
- [14] ZEISS, Carl. *Univerzální délkoměr: Návod na použití*. 24. Carl Zeiss JENA.
- [15] POŘÍZEK, Jaromír. *Comparator verze 6.0: Software pro délkoměry*. Praha, 2006, 16 s. Dostupné také z: www.topmes.cz

- [16] *L&W GmbH* [online]. 2016 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: <http://www.lw-gmbh.com/061/index.html>
- [17] *Chyby a nejistoty merania* [online]. In: . Technická univerzita v Košiciach, s. 9 [cit. 2016-05-16]. Dostupné z: <http://web.tuke.sk/smetrologia/navody/uloha04.pdf>
- [18] Měření Abbeho délkoměrem. *Studijní materiály a podklady školní rok 2007/2008* [online]. [cit. 2015-03-07]. VOŠ SPŠ Kladno. Dostupný z WWW: <<https://www.spskladno.cz/stahuj.php?id=2091>
- [19] RENISHAW S.R.O. *RGH22 series readhead*. United Kingdom: Renishaw, 2016.
- [20] ŠRÁMEK, Jan. *Nejistoty přesných délkových měření*. Brno, 2008. Bakalářská práce. VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ. Vedoucí práce Ing. František Vdoleček, C
- [21] UNIMETRA,SPOL.S.R.O. *Postup výpočtu nejistot měření při kalibraci délkoměrů*. Ostrava: UNIMETRA, spol.s.r.o., 2016.

Seznam příloh

Příloha A - Tabulkové zpracování pro zbylé hodnoty měrek před digitalizací

Příloha B - Tabulkové zpracování pro zbylé hodnoty měrek po digitalizaci

Příloha C – Kalibrační list koncových měrek

Příloha D – Výkres ustavení snímač RGH22

Příloha A - Tabulkové zpracování pro zbylé hodnoty měrek před digitalizací

Naměřené hodnoty a vypočítané hodnoty odchylek pro zjištění opakovatelnosti nuly

Tabulka 1

č.m	naměř.hodnota [mm]	$x_i - \bar{x}$ [mm]	$(x_i - \bar{x})^2$ [mm ²]
1.	0	0,00000	0,00000
2.	0	0,00000	0,00000
3.	0	0,00000	0,00000
4.	0	0,00000	0,00000
5.	0	0,00000	0,00000
6.	0	0,00000	0,00000
7.	0	0,00000	0,00000
8.	0	0,00000	0,00000
9.	0	0,00000	0,00000
10.	0	0,00000	0,00000
sumaΣ	0		0,0000000000
výběrový průměr	0 [mm]		
výběr.směr.odch.	0 [mm]		
směr.odch.dílčích arit.rozměr.	0 [μm]		
standartní nejistota typu A	0 [μm]		
ub1	0,1 [μm]		
ub2	0,29 [μm]		
ub3	0[μm]		
ub4	0 [μm]		
uB	0,305505046 [μm]		
u	0,305505046 [μm]		
U	0,6110 = 0,61 [μm]		

$$X = (0 \pm 0,0006) \text{ mm}$$

Naměřené hodnoty a vypočítané hodnoty odchylek pro koncovou měрку o hodnotě 10 mm

Tabulka 2

č.m	naměř.hodnota [mm]	$x_i - \bar{x}$ [mm]	$(x_i - \bar{x})^2$ [mm ²]
1.	10	-0,00006	0,0000000036
2.	10	-0,00006	0,0000000036
3.	10,0001	0,00004	0,0000000016
4.	10,0001	0,00004	0,0000000016
5.	10,0001	0,00004	0,0000000016
6.	10,0001	0,00004	0,0000000016
7.	10,0001	0,00004	0,0000000016
8.	10	-0,00006	0,0000000036
9.	10,0001	0,00004	0,0000000016
10.	10	-0,00006	0,0000000036
sumaΣ	100,0006		0,0000000240
výběrový průměr	10,00006 [mm]		
výběr.směr.odch.	0,00005 [mm]		
směr.odch.dílčích arit.rozměr.	0,016 [μm]		
standartní nejistota typu A	0,016 [μm]		
ub1	0,11 [μm]		
ub2	0,29 [μm]		
ub3	0,01 [μm]		
ub4	0,01 [μm]		
uB	0,309348015 [μm]		
u	0,309778729 [μm]		
U	0,6196 = 0,62 [μm]		

Naměřená hodnota bez opravy hodnoty z kalibračního listu

$X = (10,00006 \pm 0,00062) \text{ mm}$

Naměřená hodnota s opravou hodnoty z kalibračního listu

$X = (10,00012 \pm 0,00062) \text{ mm}$

Naměřené hodnoty a vypočítané hodnoty odchylek pro koncovou měрку o hodnotě 25 mm

Tabulka 3

č.m	naměř.hodnota [mm]	$x_i - \bar{x}$ [mm]	$(x_i - \bar{x})^2$ [mm ²]
1.	25,0002	-0,00021	0,0000000441
2.	25,0003	-0,00011	0,0000000121
3.	25,0003	-0,00011	0,0000000121
4.	25,0005	0,00009	0,0000000081
5.	25,0004	-0,00001	0,0000000001
6.	25,0005	0,00009	0,0000000081
7.	25,0005	0,00009	0,0000000081
8.	25,0004	-0,00001	0,0000000001
9.	25,0006	0,00019	0,0000000361
10.	25,0004	-0,00001	0,0000000001
sumaΣ	500,0032		0,0000001290
výběrový průměr	25,00041 [mm]		
výběr.směr.odch.	0,00012 [mm]		
směr.odch.dílčích arit.rozměr.	0,038 [μm]		
standartní nejistota typu A	0,038 [μm]		
ub1	0,13 [μm]		
ub2	0,29 [μm]		
ub3	0,03 [μm]		
ub4	0,03 [μm]		
uB	0,317176946 [μm]		
u	0,319428472 [μm]		
U	0,6389 = 0,64 [μm]		

Naměřená hodnota bez opravy hodnoty z kalibračního listu

$X = (25,00041 \pm 0,00064) \text{ mm}$

Naměřená hodnota s opravou hodnoty z kalibračního listu

$X = (25,00056 \pm 0,00064) \text{ mm}$

Naměřené hodnoty a vypočítané hodnoty odchylek pro koncovou měрку o hodnotě 50 mm

Tabulka 4

č.m	naměř.hodnota [mm]	$x_i - \bar{x}$ [mm]	$(x_i - \bar{x})^2$ [mm ²]
1.	50,0002	-0,00012	0,0000000144
2.	50,0004	0,00008	0,0000000064
3.	50,0005	0,00018	0,0000000324
4.	50,0003	-0,00002	0,0000000004
5.	50,0002	-0,00012	0,0000000144
6.	50,0003	-0,00002	0,0000000004
7.	50,0003	-0,00002	0,0000000004
8.	50,0003	-0,00002	0,0000000004
9.	50,0002	-0,00012	0,0000000144
10.	50,0005	0,00018	0,0000000324
sumaΣ	500,0032		0,0000001160
výběrový průměr	50,00032 [mm]		
výběr.směr.odch.	0,00011 [mm]		
směr.odch.dílčích arit.rozměr.	0,036 [μm]		
standartní nejistota typu A	0,036 [μm]		
ub1	0,15 [μm]		
ub2	0,29 [μm]		
ub3	0,06 [μm]		
ub4	0,06 [μm]		
uB	0,335268342 [μm]		
u	0,337185038 [μm]		
U	0,6744 = 0,67 [μm]		

Naměřená hodnota bez opravy hodnoty z kalibračního listu

$X = (50,00032 \pm 0,00067)$ mm

Naměřená hodnota s opravou hodnoty z kalibračního listu

$X = (50,00058 \pm 0,00067)$ mm

Naměřené hodnoty a vypočítané hodnoty odchylek pro koncovou měrku o hodnotě 75 mm

Tabulka 5

č.m	naměř.hodnota [mm]	$x_i - \bar{x}$ [mm]	$(x_i - \bar{x})^2$ [mm ²]
1.	75,0003	-0,00010	0,0000000100
2.	75,0003	-0,00010	0,0000000100
3.	75,0004	0,00000	0,0000000000
4.	75,0002	-0,00020	0,0000000400
5.	75,0005	0,00010	0,0000000100
6.	75,0003	-0,00010	0,0000000100
7.	75,0003	-0,00010	0,0000000100
8.	75,0005	0,00010	0,0000000100
9.	75,0006	0,00020	0,0000000400
10.	75,0006	0,00020	0,0000000400
sumaΣ	750,004		0,0000001800
výběrový průměr	75,0004 [mm]		
výběr.směr.odch.	0,00014 [mm]		
směr.odch.dílčích arit.rozměr.	0,045 [μm]		
standartní nejistota typu A	0,045 [μm]		
ub1	0,18 [μm]		
ub2	0,29 [μm]		
ub3	0,08 [μm]		
ub4	0,09 [μm]		
uB	0,358809519 [μm]		
u	0,361585772 [μm]		
U	0,72317 = 0,72 [μm]		

Naměřená hodnota bez opravy hodnoty z kalibračního listu

$$X = (75,0004 \pm 0,00072) \text{ mm}$$

Naměřená hodnota s opravou hodnoty z kalibračního listu

$$X = (75,00079 \pm 0,00072) \text{ mm}$$

Naměřené hodnoty a vypočítané hodnoty odchylek pro koncovou měrku o hodnotě 100 mm

Tabulka 6

č.m	naměř.hodnota [mm]	$x_i - \bar{x}$ [mm]	$(x_i - \bar{x})^2$ [mm ²]
1.	100,0005	0,00002	0,0000000004
2.	100,0004	-0,00008	0,0000000064
3.	100,0004	-0,00008	0,0000000064
4.	100,0006	0,00012	0,0000000144
5.	100,0004	-0,00008	0,0000000064
6.	100,0005	0,00002	0,0000000004
7.	100,0004	-0,00008	0,0000000064
8.	100,0006	0,00012	0,0000000144
9.	100,0005	0,00002	0,0000000004
10.	100,0005	0,00002	0,0000000004
sumaΣ	1000,0048		0,0000000560
výběrový průměr	100,0005 [mm]		
výběr.směr.odch.	0,00008 [mm]		
směr.odch.dílčích arit.rozměr.	0,03 [μm]		
standartní nejistota typu A	0,03 [μm]		
ub1	0,2 [μm]		
ub2	0,29 [μm]		
ub3	0,11 [μm]		
ub4	0,12 [μm]		
uB	0,386806728 [μm]		
u	0,387968355 [μm]		
U	0,77594 = 0,78 [μm]		

Naměřená hodnota bez opravy hodnoty z kalibračního listu

$$X = (100,0005 \pm 0,00078) \text{ mm}$$

Naměřená hodnota s opravou hodnoty z kalibračního listu

$$X = (100,0012 \pm 0,00078) \text{ mm}$$

Příloha B - Tabulkové zpracování pro zbylé hodnoty měrek po digitalizaci

Naměřené hodnoty a vypočítané hodnoty odchylek pro zjištění opakovatelnosti nuly

Tabulka č.6

č.m	naměř.hodnota [mm]	$x_i - \bar{x}$ [mm]	$(x_i - \bar{x})^2$ [mm ²]
1.	0	0,00000	0,0000000000
2.	0	0,00000	0,0000000000
3.	0	0,00000	0,0000000000
4.	0	0,00000	0,0000000000
5.	0	0,00000	0,0000000000
6.	0	0,00000	0,0000000000
7.	0	0,00000	0,0000000000
8.	0	0,00000	0,0000000000
9.	0	0,00000	0,0000000000
10.	0	0,00000	0,0000000000
sumaΣ	0		0,0000000000
výběrový průměr	0 [mm]		
výběr.směr.odch.	0 [mm]		
směr.odch.dílčích arit.rozměr.	0 [μm]		
standartní nejistota typu A	0 [μm]		
ub1	0,1 [μm]		
ub2	0,05774 [μm]		
ub3	0 [μm]		
ub4	0[μm]		
uB	0,115470054 [μm]		
u	0,115470054 [μm]		
U	0,2309 = 0,23 [μm]		

$$X = (0 \pm 0,00023) \text{ mm}$$

Naměřené hodnoty a vypočítané hodnoty odchylek pro koncovou měрку o hodnotě 10 mm

Tabulka 7

č.m	naměř.hodnota [mm]	$x_i - \bar{x}$ [mm]	$(x_i - \bar{x})^2$ [mm ²]
1.	10,0002	-0,00004	0,0000000016
2.	10,0003	0,00006	0,0000000036
3.	10,0003	0,00006	0,0000000036
4.	10,0002	-0,00004	0,0000000016
5.	10,0002	-0,00004	0,0000000016
6.	10,0002	-0,00004	0,0000000016
7.	10,0003	0,00006	0,0000000036
8.	10,0003	0,00006	0,0000000036
9.	10,0002	-0,00004	0,0000000016
10.	10,0002	-0,00004	0,0000000016
sumaΣ	100,00024		0,0000000240
výběrový průměr	10,00024 [mm]		
výběr.směr.odch.	0,00005 [mm]		
směr.odch.dílčích arit.rozměr.	0,016 [μm]		
standartní nejistota typu A	0,016 [μm]		
ub1	0,11 [μm]		
ub2	0,058 [μm]		
ub3	0,013[μm]		
ub4	0,007 [μm]		
uB	0,12511639 [μm]		
u	0,126177564 [μm]		
U	0,2524 = 0,25 [μm]		

Naměřená hodnota bez opravy hodnoty z kalibračního listu

$$X = (10,00024 \pm 0,00025) \text{ mm}$$

Naměřená hodnota s opravou hodnoty z kalibračního listu

$$X = (10,0003 \pm 0,00025) \text{ mm}$$

Naměřené hodnoty a vypočítané hodnoty odchylek pro koncovou měрку o hodnotě 25 mm

Tabulka 8

č.m	naměř.hodnota [mm]	$x_i - \bar{x}$ [mm]	$(x_i - \bar{x})^2$ [mm ²]
1.	25,0005	0,00006	0,0000000036
2.	25,0004	-0,00004	0,0000000016
3.	25,0004	-0,00004	0,0000000016
4.	25,0005	0,00006	0,0000000036
5.	25,0005	0,00006	0,0000000036
6.	25,0004	-0,00004	0,0000000016
7.	25,0005	0,00006	0,0000000036
8.	25,0004	-0,00004	0,0000000016
9.	25,0004	-0,00004	0,0000000016
10.	25,0004	-0,00004	0,0000000016
sumaΣ	250,0044		0,0000000240
výběrový průměr	25,00044 [mm]		
výběr.směr.odch.	0,00005 [mm]		
směr.odch.dílčích arit.rozměr.	0,016 [μm]		
standartní nejistota typu A	0,016 [μm]		
ub1	0,125 [μm]		
ub2	0,058 [μm]		
ub3	0,033[μm]		
ub4	0,017 [μm]		
uB	0,142612042 [μm]		
u	0,143543934 [μm]		
U	0,2871 = 0,29 [μm]		

Naměřená hodnota bez opravy hodnoty z kalibračního listu

$X = (25,00044 \pm 0,00029)$ mm

Naměřená hodnota s opravou hodnoty z kalibračního listu

$X = (25,00059 \pm 0,00029)$ mm

Naměřené hodnoty a vypočítané hodnoty odchylek pro koncovou měрку o hodnotě 50 mm

Tabulka 9

č.m	naměř.hodnota [mm]	$x_i - \bar{x}$ [mm]	$(x_i - \bar{x})^2$ [mm ²]
1.	50,0003	-0,00006	0,0000000036
2.	50,0004	0,00004	0,0000000016
3.	50,0004	0,00004	0,0000000016
4.	50,0003	-0,00006	0,0000000036
5.	50,0004	0,00004	0,0000000016
6.	50,0004	0,00004	0,0000000016
7.	50,0004	0,00004	0,0000000016
8.	50,0003	-0,00006	0,0000000036
9.	50,0003	-0,00006	0,0000000036
10.	50,0004	0,00004	0,0000000016
sumaΣ	500,0036		0,0000000240
výběrový průměr	50,00036 [mm]		
výběr.směr.odch.	0,00005 [mm]		
směr.odch.dílčích arit.rozměr.	0,016 [μm]		
standartní nejistota typu A	0,016 [μm]		
ub1	0,15 [μm]		
ub2	0,058 [μm]		
ub3	0,066[μm]		
ub4	0,033 [μm]		
uB	0,177067156 [μm]		
u	0,177818572 [μm]		
U	0,3556 = 0,36 [μm]		

Naměřená hodnota bez opravy hodnoty z kalibračního listu

$X = (50,00036 \pm 0,00036)$ mm

Naměřená hodnota s opravou hodnoty z kalibračního listu

$X = (50,00062 \pm 0,00036)$ mm

Naměřené hodnoty a vypočítané hodnoty odchylek pro koncovou měрку o hodnotě 75 mm

Tabulka 10

č.m	naměř.hodnota [mm]	$x_i - \bar{x}$ [mm]	$(x_i - \bar{x})^2$ [mm ²]
1.	75,0002	0,00004	0,0000000016
2.	75,0001	-0,00006	0,0000000036
3.	75,0002	0,00004	0,0000000016
4.	75,0002	0,00004	0,0000000016
5.	75,0002	0,00004	0,0000000016
6.	75,0001	-0,00006	0,0000000036
7.	75,0002	0,00004	0,0000000016
8.	75,0001	-0,00006	0,0000000036
9.	75,0001	-0,00006	0,0000000036
10.	75,0002	0,00004	0,0000000016
sumaΣ	750,0016		0,0000000240
výběrový průměr	75,00016 [mm]		
výběr.směr.odch.	0,00005 [mm]		
směr.odch.dílčích arit.rozměr.	0,016 [μm]		
standartní nejistota typu A	0,016 [μm]		
ub1	0,175 [μm]		
ub2	0,058 [μm]		
ub3	0,099[μm]		
ub4	0,05[μm]		
uB	0,215353392 [μm]		
u	0,215971642 [μm]		
U	0,4319 = 0,43 [μm]		

Naměřená hodnota bez opravy hodnoty z kalibračního listu

$$X = (75,00016 \pm 0,00043) \text{ mm}$$

Naměřená hodnota s opravou hodnoty z kalibračního listu

$$X = (75,00055 \pm 0,00043) \text{ mm}$$

Naměřené hodnoty a vypočítané hodnoty odchylek pro koncovou měрку o hodnotě 100 mm

Tabulka 11

č.m	naměř.hodnota [mm]	$x_i - \bar{x}$ [mm]	$(x_i - \bar{x})^2$ [mm ²]
1.	99,9987	0,00003	0,0000000009
2.	99,9987	0,00003	0,0000000009
3.	99,9987	0,00003	0,0000000009
4.	99,9986	-0,00007	0,0000000049
5.	99,9987	0,00003	0,0000000009
6.	99,9987	0,00003	0,0000000009
7.	99,9987	0,00003	0,0000000009
8.	99,9986	-0,00007	0,0000000049
9.	99,9987	0,00003	0,0000000009
10.	99,9986	-0,00007	0,0000000049
sumaΣ	999,9867		0,000000210
výběrový průměr	99,99867 [mm]		
výběr.směr.odch.	0,00005 [mm]		
směr.odch.dílčích arit.rozměr.	0,015 [μm]		
standartní nejistota typu A	0,015 [μm]		
ub1	0,2 [μm]		
ub2	0,05774 [μm]		
ub3	0,13279[μm]		
ub4	0,06667[μm]		
uB	0,25575596 [μm]		
u	0,256211718 [μm]		
U	0,5124 = 0,51 [μm]		

Naměřená hodnota bez opravy hodnoty z kalibračního listu

$X = (99,99867 \pm 0,00051) \text{ mm}$

Naměřená hodnota s opravou hodnoty z kalibračního listu

$X = (99,99939 \pm 0,00051) \text{ mm}$

Příloha C- Kalibrační list koncových měrek

	UNIMETRA, spol. s r.o. Odd. Kalibrační laboratoř Těšínská 367, 716 00 Ostrava - Radvanice tel.: +420 596 229 028 e-mail: kalibracni.laborator@unimetra.cz www.unimetra.cz																		
Kalibrační laboratoř č. 2310, akreditovaná Českým institutem pro akreditaci, o.p.s. podle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005																			
KALIBRAČNÍ LIST : 1602246																			
Zákazník: Měřidlo: Počet kusů: Identifikace:	UNIMETRA - KL odd. Kalibrační laboratoř Těšínská 828/367 71600 Ostrava-Radvanice Koncová měrka sada (0,5 - 100)mm, Somet, 122ks v sadě 1 ev.č. 001.0003 Kalibrační postup: PP-11.02 Kalibrace koncových měrek <table border="0" style="width: 100%; font-size: x-small;"> <tr> <th colspan="2">Etalony:</th> <th></th> <th></th> </tr> <tr> <th>Číslo</th> <th>Název</th> <th>Měřicí rozsah</th> <th></th> </tr> <tr> <td>001.0309</td> <td>koncové měrky - sada 3.řád</td> <td>(0,5-100) mm</td> <td>Kalibrační list 7001-KL-M0006-13 Platnost etalonu 29.10.2016</td> </tr> <tr> <td>001.0062</td> <td>přístroj na kalibraci koncových měrek</td> <td>(0-100) mm</td> <td>6033-KL-S0240-13 09.10.2016</td> </tr> </table> <p><i>Použité etalony jsou metrologicky navázány na státní (mezinárodní) etalonáž.</i></p> <p>Podmínky kalibrace: teplota vzduchu v laboratoři (20±1)*C</p> <p>Výsledek kalibrace: Viz naměřené hodnoty.</p> <p>Rozšířená nejistota: $U = (0,2+2\ln) \mu\text{m}$, ln je měřená délka v metrech</p> <p><small>Uvedená rozšířená nejistota měření je součinem standardní nejistoty měření a koeficientu rozšíření k=2, což pro normální rozdělení odpovídá pravděpodobnosti pokrytí asi 95%. Standardní nejistota měření byla určena v souladu s dokumentem EA 4/02.</small></p>			Etalony:				Číslo	Název	Měřicí rozsah		001.0309	koncové měrky - sada 3.řád	(0,5-100) mm	Kalibrační list 7001-KL-M0006-13 Platnost etalonu 29.10.2016	001.0062	přístroj na kalibraci koncových měrek	(0-100) mm	6033-KL-S0240-13 09.10.2016
Etalony:																			
Číslo	Název	Měřicí rozsah																	
001.0309	koncové měrky - sada 3.řád	(0,5-100) mm	Kalibrační list 7001-KL-M0006-13 Platnost etalonu 29.10.2016																
001.0062	přístroj na kalibraci koncových měrek	(0-100) mm	6033-KL-S0240-13 09.10.2016																
<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 33%;">Datum přijetí: 04.01.2016</td> <td style="width: 33%;">Datum kalibrace: 14.03.2016 až 17.03.2016</td> <td style="width: 33%;">Vystaven dne: 17.03.2019</td> </tr> <tr> <td>Kalibroval:</td> <td></td> <td>Schválil:</td> </tr> </table> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  Ludmila Matějů </div> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;">  Kamil Kotlíř, vedoucí KL </div> </div>				Datum přijetí: 04.01.2016	Datum kalibrace: 14.03.2016 až 17.03.2016	Vystaven dne: 17.03.2019	Kalibroval:		Schválil:										
Datum přijetí: 04.01.2016	Datum kalibrace: 14.03.2016 až 17.03.2016	Vystaven dne: 17.03.2019																	
Kalibroval:		Schválil:																	
Prohlášení: Výsledky kalibrací se týkají jen kalibrovaných měřidel v době kalibrace. Kalibrační list nesmí být bez schválení kalibrační laboratoře rozšiřován jinak než celý.																			
Strana 1 ze 2																			

Kalibrační list: 1602246

Tabulka naměřených hodnot:

I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	II.	III.
0,5	+0,07	0,05	1,2	+0,23	0,05	1,6	+0,13	0,05	15,5	+0,04	0,02
1	+0,10	0,03	1,21	+0,06	0,05	1,7	+0,16	0,06	16	-0,01	0,09
1,0005	+0,06	0,03	1,22	+0,07	0,04	1,8	+0,12	0,06	16,5	-0,04	0,03
1,001	+0,14	0,04	1,23	+0,11	0,06	1,9	+0,14	0,06	17	-0,11	0,04
1,002	+0,03	0,07	1,24	+0,09	0,05	2	+0,17	0,06	17,5	+0,05	0,04
1,003	+0,12	0,05	1,25	-0,08	0,04	2,5	+0,04	0,07	18	+0,04	0,03
1,004	+0,10	0,07	1,26	-0,05	0,04	3	-0,03	0,08	18,5	+0,27	0,06
1,005	+0,15	0,06	1,27	+0,09	0,05	3,5	+0,12	0,07	19	-0,01	0,06
1,006	+0,02	0,04	1,28	+0,04	0,06	4	+0,23	0,09	19,5	+0,03	0,07
1,007	+0,16	0,10	1,29	-0,09	0,05	4,5	+0,07	0,08	20	+0,26	0,03
1,008	+0,07	0,05	1,3	+0,09	0,03	5	-0,15	0,07	20,5	+0,02	0,06
1,009	+0,13	0,09	1,31	+0,05	0,08	5,5	+0,04	0,06	21	-0,09	0,04
1,01	+0,06	0,03	1,32	+0,02	0,07	6	+0,12	0,08	21,5	+0,04	0,05
1,02	+0,02	0,06	1,33	+0,13	0,05	6,5	+0,12	0,04	22	-0,08	0,10
1,03	-0,01	0,06	1,34	+0,02	0,06	7	-0,07	0,07	22,5	+0,15	0,03
1,04	-0,10	0,08	1,35	+0,14	0,06	7,5	+0,05	0,07	23	+0,08	0,06
1,05	+0,05	0,08	1,36	+0,11	0,06	8	+0,00	0,02	23,5	+0,03	0,06
1,06	-0,05	0,04	1,37	+0,07	0,06	8,5	+0,08	0,04	24	-0,04	0,04
1,07	+0,06	0,07	1,38	+0,15	0,05	9	+0,01	0,04	24,5	+0,06	0,02
1,08	+0,10	0,05	1,39	+0,02	0,06	9,5	+0,10	0,06	25	-0,15	0,04
1,09	+0,19	0,08	1,4	-0,01	0,03	10	-0,06	0,06	30	+0,12	0,06
1,1	+0,08	0,04	1,41	+0,04	0,05	10,5	+0,19	0,08	40	-0,02	0,12
1,11	-0,23	0,07	1,42	+0,06	0,08	11	-0,21	0,09	50	-0,26	0,14
1,12	-0,03	0,05	1,43	+0,01	0,05	11,5	+0,13	0,07	60	+0,32	0,10
1,13	-0,08	0,05	1,44	+0,01	0,05	12	-0,03	0,05	70	-0,02	0,09
1,14	+0,12	0,06	1,45	+0,05	0,06	12,5	-0,01	0,08	75	-0,39	0,10
1,15	+0,14	0,04	1,46	+0,10	0,05	13	+0,11	0,04	80	+0,42	0,09
1,16	+0,14	0,08	1,47	+0,08	0,05	13,5	+0,14	0,06	90	-0,53	0,06
1,17	+0,13	0,05	1,48	+0,14	0,07	14	+0,06	0,03	100	-0,72	0,17
1,18	+0,04	0,07	1,49	+0,04	0,07	14,5	+0,19	0,04	-	-	-
1,19	+0,13	0,05	1,5	-0,04	0,06	15	+0,09	0,06	-	-	-

Sloupec I - jmenovitá délka l_n v mmSloupec II - naměřená odchylka středové délky t_{sc} v μm Sloupec III - rozpětí délky t_r v μm

Konvenční hodnota délky koncové měrky =

=jmenovitá hodnota délky l_n + odchylka s uvedeným znaménkemKoeficient tepelné roztažnosti etalonové sady: $(11,5 \pm 1) 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ Koeficient tepelné roztažnosti měřené sady: $(11,5 \pm 1) 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Prohlášení: Výsledky kalibrací se týkají jen kalibrovaných měřidel v době kalibrace.
Kalibrační list nesmí být bez schválení kalibrační laboratoře rozšiřován jinak než celý.

Příloha D - Výkres ustavení snímače RGH22^[19]

